

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

**Energetická a provozní optimalizace systému veřejného
osvětlení obce a návrh obnovy**

Energy and operational optimization of the public lighting system
in the village and recovery draft

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Hecht**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Energetická a provozní optimalizace systému veřejného osvětlení obce a návrh obnovy
Energy and operational optimization of the public lighting system in the village and recovery draft

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor požadavků na obnovu soustav VO
2. Rozbor možností odhadu dosažitelných úspor
3. Možnosti zařazení komunikací
4. Zhodnocení stávajícího stavu a energetické náročnosti systému veřejného osvětlení obce

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při vypracování této diplomové práce, je legální.

V Ostravě, dne



.....
Bc. David Hecht

Poděkování

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za podnětné a cenné rady a připomínky, které vedly k úspěšnému sepsání této práce. Dále bych pak rád poděkoval všem svým blízkým, kteří mne během studia podporovali.

Abstrakt

Tato práce se zabývá souhrnem známých informací o stávajícím stavu osvětlovacích soustav na území české republiky, používaných svítidel a světelných zdrojů. Dále je zde uveden rozbor nového systému zařídování komunikací, včetně přeložení části normativních údajů z angličtiny do češtiny. Stěžejní částí této práce je rozbor požadavků na obnovu soustav veřejného osvětlení, zahrnující i rozbor nově vydané části normy pro osvětlení pozemních komunikací a jejich aplikace v praxi formou návrhu obnovy osvětlovací soustavy vybraného města či obce.

Abstract

This thesis deals with a set of known information about the current state of the lighting systems in the Czech Republic, used luminaires and light sources. Further, there is an analysis of the new system of classifying communications by the lumination requirements, including the translation of part of normative data from English into Czech. The main part of this work is an analysis of requirements for the renewal of public lighting systems, including an analysis of the newly issued part of the standard for road lighting and their application in practice in the form of the renewal design of a selected city or municipality's lighting system.

Klíčová slova

veřejné osvětlení, osvětlení pozemních komunikací, energetické ukazatele, obnova VO

Key Words

public lighting, road lighting, energy indicators, renewal of public lighting

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
Úvod	13
1. Požadavky na obnovu soustav veřejného osvětlení	14
1.1 Ekonomické požadavky.....	14
1.2 Normativní požadavky	15
1.3 Technické požadavky	18
1.3.1 Rozvaděče veřejného osvětlení.....	18
1.3.2 Sloupy veřejného osvětlení.....	19
2. Technologie svítidel a světelných zdrojů.....	20
2.1. Nejčastěji používané světelné zdroje ve VO.....	20
2.2. Svítidla používaná ve VO.....	23
2.2.1 Optická část svítidla.....	24
2.2.2 Elektrická část svítidla.....	25
2.2.3 Konstrukční části svítidel	25
3. Zatřídění komunikací	27
3.1 Význam zatřídění komunikací	27
3.2 Zatřídění komunikací podle ČSN CEN/TR 13201-1	27
3.2.1 Třídy osvětlení pro motorová vozidla (M).....	27
3.2.2 Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti (C)	30
3.2.3 Třídy osvětlení pro pěší a komunikace s nízkými rychlostmi (P)	31
3.2.4 Příklad zatřídění.....	32
3.3 Alternativní metoda pro zatřídění komunikací dle ČSN CEN/TR 13201-1	34
4. Možnosti odhadu dosažitelných úspor.....	37
4.1 Řízení a regulace soustav VO.....	37
4.1.1 Řízení a regulace soustav s vysokotlakou sodíkovou výbojkou.....	38

4.1.2	Řízení a regulace LED pomocí PWM regulace	39
4.1.3	Způsoby regulace.....	40
4.2	Ukazatelé energetické náročnosti	41
4.2.1	PDI – Power Density Indicator (Ukazatel Hustoty Výkonu)	41
4.2.2	AECI – Annual Energy Consumption Indicator (Ukazatel Roční Spotřeby Elektrické Energie).....	43
4.2.3	Měrný výkon osvětlovací soustavy.....	44
4.2.4	Příklady řízení soustav veřejného osvětlení	45
5.	Posouzení stávajícího stavu a návrh obnovy VO vybraných částí města Petřvald	47
5.1	Stávající stav veřejného osvětlení.....	47
5.1.1	Měření vybraných komunikací	47
5.1.2	Návrh rekonstrukce osvětlení vybraných komunikací	56
6.	Závěr	63
	Literatura.....	64
	Seznam příloh	66

Seznam použitých symbolů a zkratek

$A \text{ (m}^2\text{)}$	světlovaná plocha komunikace
AECI	Annual Energy Consumption Indicator (Ukazatel roční spotřeby elektrické energie)
C_L	korekční faktor poloválcové osvětlenosti jasově založených tříd
$D_E \text{ (Wh} \cdot \text{m}^{-2}\text{)}$	AECI
$D_P \text{ (mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}\text{)}$	PDI
$E_i \text{ (lx)}$	průměrná horizontální osvětlenost
$E_{\min} \text{ (lx)}$	minimální osvětlenost povrchu vozovky
$E_p \text{ (lx)}$	průměrná osvětlenost povrchu vozovky
f_M	celkový udržovací činitel osvětlovací soustavy
$f_{TI} \text{ (%)}$	omezující oslnění (tzv. prahový přírůstek)
$\Phi_A \text{ (lm)}$	světelný tok dopadající na plochu
$L \text{ (cd} \cdot \text{m}^{-2}\text{)}$	jas povrchu vozovky
LED	Light Emitting Diode (Světelná dioda)
m	počet časových úseků, pro které je výpočet prováděn
η_{inst}	měrný výkon osvětlovací soustavy
n_{lp}	počet světelných bodů
η_{ls}	účinnost světelného zdroje
η_P	účinnost svítidel použitých v soustavě VO
$P \text{ (W)}$	příkon
$P_{ad} \text{ (W)}$	příkon všech zařízení, která nejsou bezprostředně spjata s funkcí světelného bodu

PDI	Power Density Indicator (Ukazatel hustoty výkonu)
P_j (W)	příkon soustavy při daném časovém úseku
P_k (W)	příkon k světelných bodů
PWM	pulsně šířková modulace
ρ_0	koeficient odraznosti povrchu vozovky
R_{EI}	osvětlení okolí
R_{LO}	účinnost optických částí svítidla
RVO	rozvaděč veřejného osvětlení
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
t_j (h)	uvažovaná doba provozu
U	činitel využití soustavy
U_i	příčná rovnoměrnost
U_o	podélná rovnoměrnost
U_{ow}	celková rovnoměrnost při mokré vozovce
VO	veřejné osvětlení
V_w	Weighting value (Váhové kritérium)
VWS	Sum of the weighting values (Suma váhových kritérií)

Seznam obrázků

Obr. 1 - Nejčastěji používaná sodíková výbojka typu SON-T firmy Philips s příkonem 70 W [11]	20
Obr. 2 - Standartní halogenidová výbojka firmy Philips o příkonu 250 W [12]	21
Obr. 3 - Závislost světelného toku různých LED na teplotě PN přechodu [14]	22
Obr. 4 - Moderní svítidlo s LED modulem firmy Thorn [13]	22
Obr. 5 - Typický tvar křivky svítivosti pro VO svítidlo v polárních a pravoúhlých souřadnicích	24
Obr. 6 - Princip optických částí svítidel [8]	24
Obr. 7 - Stmívatelný elektronický předřadník (vlevo) a proudový zdroj pro LED (vpravo) [8]	25
Obr. 8 - Nejběžnějším svítidlem VO v ČR je tzv. typ velbloud od firmy Elektrosvit [15]	26
Obr. 9 - Čáry závislosti tříd osvětlení pro alternativní metodu zařazení komunikace třídy M [1]	35
Obr. 10 - Čáry závislosti tříd osvětlení pro alternativní metodu zařazení komunikace třídy P [1]	36
Obr. 11 - Příklad změny světelného toku vysokotlakých Na výbojek v závislosti na příkonu osvětlovací soustavy [6]	38
Obr. 12 - Princip fázové regulace (vlevo sestupnou hranou a vpravo vzestupnou) [6]	39
Obr. 13 - Princip PWM regulace LED čipu. [17]	40
Obr. 14 – Jednoúrovňové řízení [5]	45
Obr. 15 - Řízení víceúrovňové s příkonem 100% a 50% [5]	46
Obr. 16 - Řízení mnohaúrovňové ve spojení s detektory pohybu [5]	46
Obr. 17 - Znázornění vystřídání soustavy	48
Obr. 18 - Světelné podmínky při měření na prvním typovém úseku	48
Obr. 19 - Světelné podmínky při měření druhého typového úseku	49
Obr. 20 - První měřený úsek - pohled z dělicího pruhu	49
Obr. 21 - Druhý měřený úsek - pohled z dělicího pruhu	50
Obr. 22 - Rozmístění a značení roztečí měřené mřížky [3]	50
Obr. 23 - Letecký snímek měřených úseků (vlevo 1, vpravo 2)	51
Obr. 24 - Letecký snímek měřených úseků (42 m vlevo, 35 m vpravo)	53
Obr. 25 - Fotografie úseku s roztečí 42 m	53
Obr. 26 - Fotografie úseku s roztečí 35 m	54
Obr. 27 - Zobrazení vypočtených hodnot jasů pro oba směry komunikace	58
Obr. 28 - Grafické rozložení jasu pro oba směry komunikace	58
Obr. 29 - Vypočtené hodnoty osvětlenosti (42 m nahoře, 35 m dole)	60
Obr. 30 - Grafické znázornění osvětlenosti (42 m nahoře, 35 m dole)	60

Seznam tabulek

Tab. 1 - Tabulka optimálních životností prvků osvětlovací soustavy [9]	19
Tab. 2 - Hodnocení rychlosti uživatele komunikace [1]	28
Tab. 3 - Hodnocení hustoty provozu [1].....	28
Tab. 4 - Hodnocení složení dopravy [1]	29
Tab. 5 - Hodnocení hustoty křížení [1].....	29
Tab. 6 - Hodnocení jasu okolí [1]	30
Tab. 7 - Hodnocení složitosti navigace [1]	30
Tab. 8 - Volba třídy C ke třídě M na základě ρ_0 [1]	31
Tab. 9 - Rychlost uživatele pro třídu P [1]	31
Tab. 10 - Rušnost komunikace pro třídu P [1].....	31
Tab. 11 - Složení dopravy ve třídě P [1].....	32
Tab. 12 - Příklad zatřídění pro modelovou komunikaci	32
Tab. 13 - Parametry pro osvětlení komunikace třídy M2 [2]	33
Tab. 14 - Tabulka pro alternativní zatřídění komunikace třídy M [1].....	34
Tab. 15 - Tabulka pro alternativní zatřídění komunikace třídy P [1].....	35
Tab. 16 - Typické hodnoty ukazatele PDI v $\text{mW}\cdot\text{lx}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ [5]	43
Tab. 17 - Typické hodnoty ukazatele AECl v $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ [5].....	44
Tab. 18 - Zatřídění komunikace Ostravská.....	51
Tab. 19 - Tabulka měřených a požadovaných hodnot.....	52
Tab. 20 - Zatřídění komunikací v oblasti RVO 003.....	54
Tab. 21 - Tabulka měřených a požadovaných hodnot.....	55
Tab. 22 - Tabulka vypočtených energetických ukazatelů pro měřené hodnoty	55
Tab. 23 - Parametry pro návrh VO na ulici „Ostravská“	57
Tab. 24 - Vypočtené a normativní hodnoty pro třídu M2.....	57
Tab. 25 - Parametry pro návrh VO pro RVO 003.....	59
Tab. 26 - Vypočtené a normativní požadavky třídy P4.....	59
Tab. 27 - Srovnání energetických ukazatelů.....	61

Úvod

Soustavy veřejného osvětlení jsou již několik desetiletí nedílnou součástí architektury měst a obcí nejen na území České republiky. Slouží především k zajištění bezpečnostních požadavků, ale lze je využít i ke zkrášlení veřejných prostranství v nočních hodinách. Specifickým prvkem veřejného osvětlení je osvětlení pozemních komunikací, což znamená osvětlení silnic a chodníků.

V české republice se začaly první osvětlovací soustavy budovat zhruba v 60. letech 20. století, mnohé z nich jsou zachovány stále v původním stavu a část z nich během doby jejich užívání prošly revitalizační vlnou spolu s technologickým pokrokem. Důležitou součástí prodloužení doby životnosti veřejného osvětlení je provádění pravidelné a správné údržby. Nicméně ani tato údržba nemůže zajistit časovou degradaci struktury materiálu krytů svítidel, korozi plechových rozvaděčů, kovových sloupů a výložníků a prvků v nich umístěných a podobné znehodnocující procesy. Postupem času se také zvyšovaly nároky na osvětlení silnic a obecně všech komunikací, což lze vysvětlit hlavně obrovským nárůstem počtu vozidel, brázdících české silnice. Tento nárůst a zároveň zvyšování cestovních rychlostí s sebou přinesl nutnost zlepšit zrakové podmínky pro řidiče a zlepšit tak jejich reakční dobu na vzniklé situace. Z tohoto hlediska jsou původní osvětlovací soustavy naprosto nevyhovující.

Cílem této práce je tedy souhrn požadavků, kladených na osvětlovací soustavy při návrhu jejich obnovy a rozbor možností provozní optimalizace a snížení spotřeby elektrické energie.

1. Požadavky na obnovu soustav veřejného osvětlení

Pokud přihlédneme k době instalace soustav osvětlení pozemních komunikací, lze s velkou jistotou říci, že v dnešní době je většina soustav veřejného osvětlení za hranicí životnosti. Nejedná se však jen o samotné světelné zdroje a svítidla, ale zároveň také o sloupky, stožáry a konzoly, na které se tato svítidla upevňují a v neposlední řadě o jejich napájecí soustavu. Proto se přistupuje k obnově soustav veřejného osvětlení. To ale není vždy jednoduché a na danou problematiku je nutno pohlížet z několika hledisek. Tato hlediska souvisí se samotnou rozhodovací procedurou, návrhem, projektem a nakonec i realizací projektu. Konkrétně se jedná o souhrn kvantitativních a kvalitativních požadavky.

1.1 Ekonomické požadavky

Stále se měnící trendy udávají chod veškerého dění. U veřejného osvětlení jsou tyto trendy spojeny se snižováním ekonomické náročnosti osvětlovacích soustav. Každá obec nebo město vynakládá ročně nemalé finanční částky za elektrickou energii, kterou je napájena soustava veřejného osvětlení. Průměrná doba svícení veřejného osvětlení v České republice je zhruba 4000 hodin za rok, což při ceně cca 2 Kč za jednu kWh dělá u běžně používané vysokotlaké sodíkové výbojky o výkonu 70 W zhruba 560 Kč za rok. Pokud se vezme v úvahu, že je osvětlovací soustava složena ze stovek takovýchto svítidel, je jasné, že se výsledná částka pohybuje v řádu stovek tisíc až jednotek milionů korun za rok.

Tato cena však souvisí hlavně se stavem jednotlivých svítidel a prvků osvětlovací soustavy. Proto by měla mít každá obec či město zpracován detailní plán údržby a výměny svítidel a světelných zdrojů. Pokud je osvětlovací soustava na nebo za hranicí své plánované životnosti, je nutno přistoupit k její rekonstrukci. K rekonstrukci se přistupuje různě, v zásadě se však provádí buďto koncepční nebo nekoncepční výměna.

Koncepční výměna spočívá v kompletní rekonstrukci soustavy veřejného osvětlení. Jedná se o kompletní výměnu svítidel za nová. To znamená demontáž starých, již nevyhovujících, svítidel a jejich nahrazení novými svítidly stejného konceptu (např. LED). Přitom se klade důraz na zvýšení účinnosti svítidel, ekonomiky provozu a obnovení nebo navýšení hodnoty osvětlenosti a jasu vozovky při daném zatřídění komunikace. Je však nutno mít zpracovanou důkladnou pasportizaci celé soustavy. Jedná se o soupis veškerého inventáře svítidel, světelných zdrojů, stožárů, vedení a rozvaděčů spolu s plánem údržby. Takto zpracovaný

pasport by měla mít každá osvětlovací soustava v každé obci, jelikož se jedná o stěžejní prvek při dosažení spolehlivého provozu a správné údržby osvětlovací soustavy.

Druhou a nejčastější formou rekonstrukce je nekoncepční výměna veřejného osvětlení. Prakticky vzato je to pouze částečná výměna svítidel. Vytipují se pouze svítidla, která jsou mechanicky poškozena nebo již nesplňují dané kvalitativní a bezpečnostní požadavky a poté se vymění za svítidla nová. Zbylá svítidla projdou klasickou provozní údržbou (čištění difuzoru, výměna světelných zdrojů) a jsou dále používána. Nutno podotknout, že správně provedenou údržbou lze prodloužit životnost svítidla o několik let. Nicméně takto provedená obnova mnohdy nesplňuje normativní požadavky na veřejné osvětlení. Je to z toho důvodu, že je v soustavě větší množství typů svítidel (dnes kombinace sodík, LED, halogenid), která mají různé parametry a mohou tak vznikat tmavá nebo naopak zbytečně přesvícená místa na komunikaci. To má za následek snížení hodnoty rovnoměrnosti osvětlení, což působí velmi rušivě na uživatele komunikace, protože se jeho zrak musí stále přizpůsobovat a dochází tak k únavě očního svalu.

Při nekoncepční obnově se sice dosáhne určitého snížení ekonomické náročnosti soustavy, ale mnohdy na úkor nedodržení stanovených hodnot osvětlenosti a jasů.

1.2 Normativní požadavky

Kvalitativní požadavky na osvětlení pozemních komunikací shrnuje soubor českých státních norem. Konkrétně jde o normy ČSN CEN/TR 13201-1 a ČSN EN 13201-2, 3, 4. Tyto normy jsou závazné pro návrh soustav veřejného osvětlení. Dnes se namísto norem ČSN CEN/TR 13201-1 a ČSN EN 13201-2 pracuje s novými evropskými normami CEN/TR 13201-1 a EN 13201-2, které upravují způsoby zařizování komunikací a požadavky na osvětlení pozemních komunikací dle nových tříd.

Ve zkratce lze říci, že se norma 13201-1 zabývá zařazením komunikací, 13201-2 se zabývá požadavky na osvětlení komunikací, 13201-3 výpočty světelně-technických parametrů a 13201-4 se zabývá měřením světelně-technických parametrů. Nově je připravena k vydání také pátá část tohoto souboru norem a to evropská norma EN 13201-5 Energy performance indicators – norma zabývající se posouzením energetické náročnosti soustav veřejného osvětlení.

ČSN CEN/TR 13201-1

Tato technická zpráva nahrazuje ČSN CEN/TR 13201-1 z roku 2007, která se zabývá zatřídováním komunikací. Nová norma vešla v platnost 1.10. 2016 a jejím úkolem je zjednodušit zařazení komunikací do tříd podle specifických ukazatelů. Zjednodušení spočívá v tom, že je zavedena obdoba multikriteriální analýzy pomocí koeficientu V_w (weighting values), který určuje váhu jednotlivých kritérií. Vyhodnocení pak probíhá součtem jednotlivých vah, který je dán koeficientem součtu vah jednotlivých kritérií VWS (sum of the weighting values). Samotná třída se pak spočte dle vztahu 1.2.1.1, kde M označuje komunikaci pro motorová vozidla.

$$M = 6 - VWS \quad (1.2.1.1)$$

Komunikace se tedy dají zařadit do několika tříd, jejichž zkratky vycházejí z anglických slov. Pro komunikace užívaná motorovými vozidly – M (motorised traffic), osvětlení konfliktních oblastí se označuje písmenem C (conflict areas), osvětlení komunikací pro pěší a nízkorychlostních oblastí se označuje P (pedestrian and low speed areas). Každá z těchto tříd se dělí do dalších podkategorií; M1-M6, C0-C5, P1-P7. Dále norma udává také doporučené hodnoty pro třídy osvětlení HS (pro pěší zóny a cyklostezky ležící mimo silnice), SC (pro pěší zóny s požadavkem na rozpoznání obličeje a zvýšení pocitu bezpečí) a EV (doplňující třída pro situace, kdy je požadována viditelnost svislých ploch).

Jak již bylo řečeno, každá rozdělení se provádí součtem vah, jednotlivých kritérií, kterými jsou typová rychlost uživatele komunikace, hustota dopravy, složení dopravy, oddělení vozovky, hustota křižovatek na kilometr, parkující vozidla, jas okolí, složitost navigace a pro případ třídy P se přidává ještě kritérium rozpoznání obličeje.

Norma udává i alternativní metodu zatřídění komunikací. Jedná se o metodu, ve které se z tabulky vybere požadovaný typ komunikace a následně se pomocí několika možností zvolí tzv. overall coefficient. Ten určuje x-ovou hodnotu v přiloženém grafu. V tomto obrazci se nacházejí tři přímky, které protínají různé třídy osvětlení. Podle daného overall coefficientu se jednoduše nalezne průsečík této hodnoty s danou přímkou a výsledkem je třída komunikace. [1]

ČSN EN 13201-2

Tato část se zabývá požadavky na osvětlení komunikací, zařazených do tříd dle první části souboru norem. Těmito požadavky jsou minimální udržovaný jas vozovky, minimální podélná rovnoměrnost osvětlení jízdního pásu vozovky, minimální příčná rovnoměrnost, maximální prahový přírůstek a minimální osvětlení okolí pro třídu M. Pro třídu C je dána pouze rovnoměrnost osvětlení a minimální udržovaná osvětlenost. Třída P má pak dānu minimální průměrnou udržovanou osvětlenost, udržovanou osvětlenost a taktěž speciální hodnoty pro požadavek rozpoznání obličeje. [2]

ČSN EN 13201-3

Třetí část souboru norem udává komplexní přehled výpočtů světelně technických parametrů jimiž jsou definovány jednotlivé třídy osvětlení uvedené v normě EN 13201-2. Na základě návodu, uvedeného v této normě, lze vypočítat průměrný jas, polokulovou, poloválcovou a svislou osvětlenost. Výpočty uvedené v této části jsou značně zjednodušeny, například se neuvažují odrazy, svítidlo se považuje za bodový zdroj apod. [3]

ČSN EN 13201-4

Ve čtvrté části jsou zpracovány metody měření osvětlenosti, případně jasu pozemní komunikace. Norma opět poskytuje komplexní návod pro měření fotometrických parametrů. Udává doporučení pro dodržení optimálních podmínek při měření, jako jsou klimatické podmínky (venkovní teplota, suchost vozovky), ustálení světelného toku po rozsvícení svítidla, vliv stínění a dopadajícího rušivého světla (např. z rozsvícených oken). Dále norma udává doporučené rozmístění měřicích bodů a postavení pozorovatele a v příloze této normy je uveden příklad formuláře protokolu o měření. [4]

ČSN EN 13201-5

Tato norma, jak již bylo řečeno, posuzuje energetickou náročnost osvětlovacích soustav veřejného osvětlení. Využívá k tomu tzv. Power Density Indicator (PDI) a Annual Energy Consumption Indicator (AECI), pomocí kterých je možno stanovit energetické úspory uvažované osvětlovací soustavy veřejného osvětlení dle parametrů použitého svítidla. [5]

1.3 Technické požadavky

Technické požadavky na obnovu soustav veřejného osvětlení tvoří zejména souhrn materiálního vybavení těchto soustav. V praxi tím rozumíme zařízení potřebná pro funkci osvětlovací soustavy (rozvaděče, vedení, sloupy, ovládání a regulace).

1.3.1 Rozvaděče veřejného osvětlení

Hlavní součást osvětlovacích soustav tvoří rozvaděče veřejného osvětlení (RVO). Jsou to napájecí body určitých částí soustavy, kterými dochází k zapínání veřejného osvětlení. Vzhledem ke stáří osvětlovacích soustav u nás je řada RVO zastaralá a dnes již zbytečně předimenzovaná. Proto je do rekonstrukce a obnovy soustav veřejného osvětlení mnohdy zahrnuta i výměna nevyhovující rozvaděčů.

Původní RVO pocházejí z dob budování prvních veřejných osvětlení (cca 60. – 70. léta 20. století), přičemž se v této době používaly svítidla s nižší účinností a tím pádem byly použity větší příkony světelných zdrojů. To znamená, že jištění těchto rozvaděčů bylo dimenzováno na mnohem větší proudy a veškeré jistící prvky a přístrojové vybavení bylo rozměrnější. Tato zařízení za léta provozu i při provádění pravidelné údržby podléhají korozi a opotřebení, tím je ohrožena spolehlivost a bezpečnost provozu a je nutno je vyměnit. Stav těchto rozvaděčů tak dnes neodpovídá nárokům jak na krytí elektrických zařízení, tak na bezpečnou obsluhu a dostupnost (některé rozvaděče např. těsně nad zemí apod.).

Oproti zastaralým rozvaděčům jsou současné moderní rozvaděče díky využití moderních technologií vybaveny jednodušším, přehlednějším a hlavně spolehlivějším vybavením. Do nových rozvaděčů se v rámci snižování spotřeby elektrické energie montují také regulační systémy nebo případně inteligentní řídicí systémy.

Při obnově rozvaděčů veřejného osvětlení je třeba brát v potaz i stáří rozvodných kabelů. Tyto původní kabely bývají nejčastěji umístěny v zemi, kde jsou vlivem vlhkosti a kyselosti půdy vystaveny velkému namáhání. To může vyústit až v poruchový stav na vodiči, který způsobí výpadek dané napájecí větve veřejného osvětlení. Preventivní údržba kabelů uložených v zemi není z ekonomického hlediska únosná a proto by měl návrh a obnova rozvodů proběhnout v dostatečném předstihu před uplynutím plánované doby životnosti.

Návrh rozvodů probíhá při zohlednění několika hledisek, která v sobě zahrnují jak ekonomické, tak i provozní a bezpečnostní nároky na provoz. Dimenzování elektrických rozvodů tedy probíhá na základě:

- a) jmenovitého proudového zatížení
- b) velikosti úbytku napětí a ztrát
- c) účinků zkratových proudů
- d) mechanického namáhání
- e) způsobu ochrany před úrazem elektrickým proudem

Je tedy nutno znát hlavně celkový příkon osvětlovací soustavy v projektované větvi a z něj spočítat proudové zatížení od kterého se následně odvíjí veškerý návrh elektrického vybavení soustavy veřejného osvětlení. [10]

1.3.2 Sloupy veřejného osvětlení

Hlavním nosným prvkem soustavy veřejného osvětlení jsou povětšinou ocelové stožáry. Tyto stožáry byly stavěny podobně jako rozvaděče během velkého rozmachu veřejného osvětlení u nás. To znamená v období politického systému ČSSR, kde byl známý nešvar zanedbávání pravidelné údržby a tím docházelo k hloubkové či povrchové korozi zejména v oblasti u betonové patky stožáru. Zmírnění a oddálení účinků koroze je dnes prováděno pomocí kvalitnějších nátěrů a nanášení sanačních hmot na ohrožená místa. [10]

Při rekonstrukci soustavy veřejného osvětlení je třeba dbát na důkladnou kontrolu těchto nosných zařízení (ať už stožárů či výložníků). V případě havarijního stavu je nutné provést výměnu takto znehodnocených nosných zařízení, neboť nevyhovující stav znamená bezpečnostní riziko, kdy např. při zlomení a následném pádu může dojít k majetkovým škodám či újmě na zdraví osob.

Tab. 1 - Tabulka optimálních životností prvků osvětlovací soustavy [9]

Svítlidla	8 - 10 let	
Rozvaděče	15 let	
Kabely	50 let	
Stožáry	cca 30 let podle typu stožáru	sadové 25 let
		výložníkové 30 - 45 let

2. Technologie svítidel a světelných zdrojů

Vzhledem ke stáří osvětlovacích soustav v České republice má na osvětlování komunikací stále drtivý podíl vysokotlaká sodíková výbojka. V současné době je ale stále větší měrou vytlačována moderními svítidly s LED technologií, které zajišťují větší účinnosti a měrné výkony.

2.1. Nejčastěji používané světelné zdroje ve VO

Vysokotlaká sodíková výbojka

Momentálně se jedná o nejčastěji zastoupený světelný zdroj v soustavách veřejného osvětlení komunikací. Uplatňují se již zhruba od 70. let 20. století jako dominantní světelný zdroj ve veřejném osvětlení a to především díky velkému měrnému výkonu (až 150 lm/W) a dlouhé životnosti (16 – 32 tis. hodin). Obrovskou výhodou je snadná údržba a velmi nízká pořizovací cena (cca 200 - 300 Kč).

Nicméně se v dnešní době jedná už o zastaralý zdroj, který svými (zejména) barevnými vlastnostmi neodpovídá požadavkům doby. Typická je hodnota teploty chromatičnosti $T_c = 2000$ K a indexu podání barev $R_a = 25$. Nevýhodou je například i malá regulovatelnost, kdy lze výbojku stmívat pouze na 50% světelného toku, což odpovídá zhruba 70% příkonu světelného zdroje a tím pádem se snižuje jeho měrný výkon. Ve veřejném osvětlení se uplatňují výbojky s příkony 50 ÷ 250 W. [7]



Obr. 1 - Nejčastěji používaná sodíková výbojka typu SON-T firmy Philips s příkonem 70 W [11]

Halogenidová výbojka

Částečnou náhradou za vysokotlaké sodíkové výbojky jsou výbojky halogenidové. Měrným výkonem dosahují kvalit výbojek sodíkových, ale velkou nevýhodou je jejich nízká životnost a poměrně vysoká pořizovací cena (650 - 1000 Kč). Používají se i k barevnému odlišení některých částí pozemních komunikací; například přechodů pro chodce. Důvodem je zvýšení bezpečnosti a viditelnosti. [7]

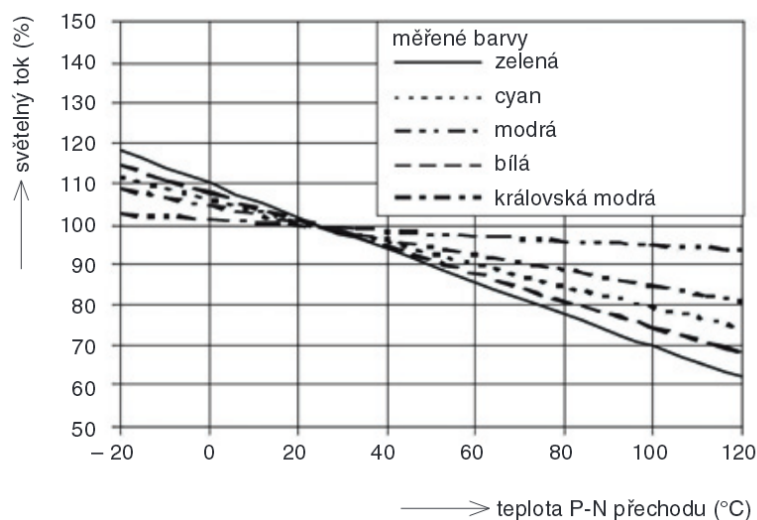


Obr. 2 - Standartní halogenidová výbojka firmy Philips o příkonu 250 W [12]

LED

Jedná se o moderní světelný zdroj, který dnes již v mnohém předčí vysokotlaké výbojky. Zejména se jedná o nižší příkony při stejném světelném toku, mnohem vyšší index podání barev (až 90) a delší životnost.

Bohužel se setkáváme i s určitými omezeními co se týče světelně technických parametrů LED čipů. Největším problémem je zejména u vyšších příkonů zvyšování teploty PN přechodu což vede ke snižování světelného toku. Proto je nutno zajistit dobrý odvod tepla z PN přechodu a svítidlo s LED čipy účinně chladit jelikož dochází ke snižování životnosti jednotlivých čipů. V praxi se teplota PN přechodu pohybuje mezi 80 a 90 °C, což je dáno hlavně konstrukcí svítidla a okolní teplotou (v létě větší problém chladit). Pokud bychom uvažovali dobu života 100 tisíc hodin, tak by teplota PN přechodu nesměla překročit hodnotu přibližně 55 °C. Závislost světelného toku na teplotě PN přechodu je na obrázku 3. [8][14]



Obr. 3 - Závislost světelného toku různých LED na teplotě PN přechodu [14]

Základní LED čip je monochromatický zdroj, který vyzařuje v modré části spektrální charakteristiky. Pomocí luminoforu je toto monochromatické záření převedeno do části spektrální charakteristiky, kde se nachází křivka citlivosti lidského oka. Bohužel je tato transformace spojena se snížením měrného výkonu čipu.

Výhodou svítidla s LED technologií je velký měrný výkon, který může být až 170 lm/W, vysoká účinnost tohoto svítidla (až 90%), delší životnost dosahující až 100 tisíc hodin, vysoký index podání barev, velmi dobrá regulovatelnost (0 – 100% světelného toku) a velký rozsah teplot chromatičnosti. Největší výhodou z optického hlediska je však to, že LED diody mají maximum vyzařování v mezopické a skotopické oblasti vidění což znamená, že se výborně hodí pro osvětlení komunikací a veřejných prostor.



Obr. 4 - Moderní svítidlo s LED modulem firmy Thorn [13]

Srovnání vysokotlaké sodíkové výbojky s LED zdrojem

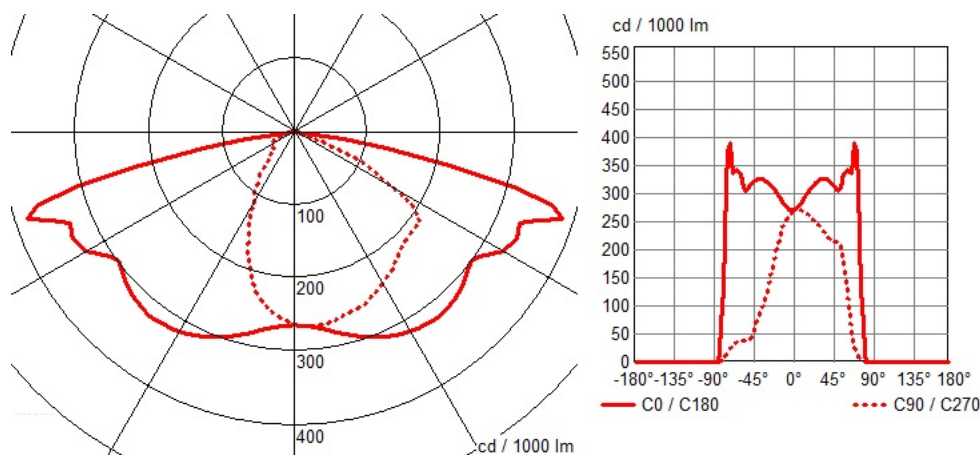
Při porovnání dvou dnes nejvíce zastoupených světelných zdrojů ve veřejném osvětlení vyplývá následující. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají oproti LED nižší měrné výkony, nižší index podání barev, kratší životnost a horší regulovatelnost. Oproti tomu však mají výrazně nižší pořizovací náklady, přičemž se po konci doby života nemusí měnit celé svítidlo (jako u LED) a výměna se pouze výbojka a její světelný tok neklesá s rostoucí teplotou, takže není nutné řešit zvláštní chlazení jako u LED, kdy je nutné chladit PN přechod, jak již bylo zmíněno výše.

2.2. Svítidla používaná ve VO

Svítidla pro osvětlování komunikací se vyznačují charakteristickým tvarem vyzařovací charakteristiky. Právě tvar této charakteristiky je důležitý pro návrh osvětlovacích soustav. Při návrhu je nutné zohlednit řadu parametrů mezi něž patří světelný tok svítidla, účinnost svítidla, jas svítidla a úhel clonění.

Světelný tok svítidla je dán rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů ve svítidle a světelného toku, který se ztratí na optických částech svítidla. Účinností svítidla rozumíme poměr světelného toku, který vychází ze svítidla ke světelnému toku všech zdrojů umístěných ve svítidle. Jas svítidla je dán podílem svítivosti a velikosti průmětu svítící plochy kolmé k uvažovanému směru. Úhel clonění svítidla je definován jako nejmenší ostrý úhel mezi viditelnou částí světelného zdroje a krytem svítidla. [8]

Křivka svítivosti udává prostorové rozložení světelného toku. Zjednodušeně lze říci, že křivka svítivosti udává směr, který svítidlo svítí a kolik světelného toku je vyzařováno tímto směrem. Z těchto křivek lze tedy vyčíst jak velikost světelného toku vyzařovaného určitým směrem, tak úhel clonění svítidla. Typický tvar křivky svítivosti pro svítidlo VO je na obrázku 5. [8]



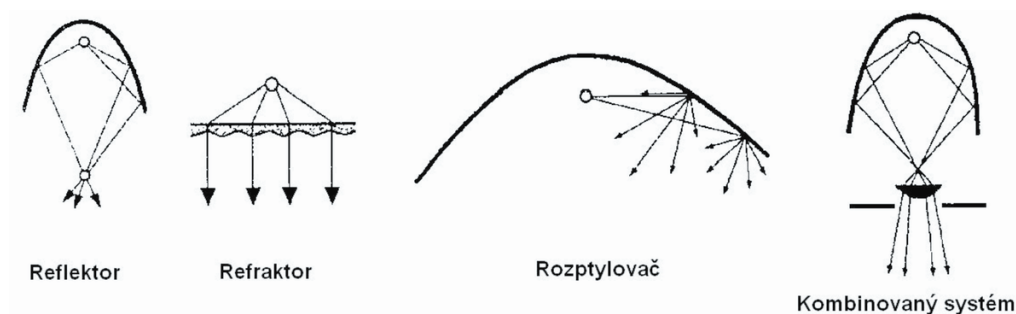
Obr. 5 - Typický tvar křivky světivosti pro VO svítidlo v polárních a pravoúhlých souřadnicích

Svítidla obecně jsou tvořena třemi základními částmi. Optickou částí, elektrickou částí a konstrukční částí.

2.2.1 Optická část svítidla

Optické části svítidel slouží k úpravě světelného toku, který vychází ze svítidla. Dochází tak k úpravě křivky světivosti, usměrnění světelného toku a omezení oslnění. Lze tedy říci, že optická část svítidla ovlivňuje jeho účinnost. Usměrnění světelného toku se provádí refraktorem, reflektorem, difuzorem nebo kombinací těchto optických prvků. [8]

Refraktor usměrňuje dopadající světelný tok, který pak vychází ze svítidla pod požadovaným úhlem. Reflektor mění distribuci světelného toku především pomocí zrcadlových odrazů. Difuzor (někdy označován jako rozptylovač) rozptyluje světelný tok a vyzařuje jej jako rovnoměrně rozptýlná plocha. Princip jednotlivých optických prvků je znázorněn na obrázku 6. [8]



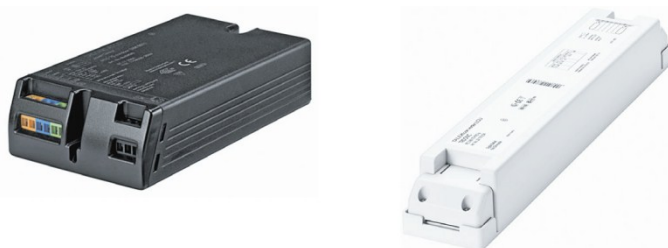
Obr. 6 - Princip optických částí svítidel [8]

2.2.2 Elektrická část svítidla

Elektrickou částí svítidla rozumíme veškerá elektrická zařízení, která zajišťují chod svítidla. Jedná se o vodiče, svorkovnice, objímky, předřadníky, transformátory a zapalovače, které zajišťují přívod a distribuci elektrické energie a provoz světelného zdroje.

Nejdůležitější částí svítidla jsou předřadníky, které slouží k úpravě vstupního napětí pro konkrétní světelný zdroj. Předřadníky pro výše zmíněné používané zdroje se dají rozdělit do dvou skupin; indukční a elektronické. Pro vysokotlaké sodíkové výbojky je hlavním prvkem indukčních předřadníků tlumivka a startér, který upraví amplitudu napětí na minimální hodnotu 180 – 190 V, potřebnou pro prvotní zapálení výboje. Elektronické předřadníky jsou programovatelné přístroje, které se dají použít také ke stmívání výbojek.

Předřadníky pro LED diody jsou polovodičové a slouží k usměrnění vstupního střídavého napětí na hodnotu 8, 12 nebo 24 V. Většinou se jedná o proudové zdroje s typickými hodnotami proudů v rozmezí 30 – 1400 mA. Nejčastější hodnoty proudů jsou 350 a 700 mA, pro stmívání se pak používají zdroje s regulovatelným proudem. [8]



Obr. 7 - Stmívatelný elektronický předřadník (vlevo) a proudový zdroj pro LED (vpravo) [8]

2.2.3 Konstrukční části svítidel

Konstrukční části svítidla slouží jako šasi svítidla. Jejich úkolem je zajistit ochranu světelného zdroje a elektrických částí před klimatickými podmínkami (vniknutí vody, prachu) a uchycení všech vnitřních prvků a optických částí svítidla včetně uchycení ke sloupu či výložníku. Těla svítidel určených pro VO jsou většinou konstruována z hliníku. [8]



Obr. 8 - Nejběžnějším svítidlem VO v ČR je tzv. typ velbloud od firmy Elektrosvit [15]

3. Zatřídění komunikací

3.1 Význam zatříd'ování komunikací

Jelikož člověk získává až 90% informací o svém okolí pomocí zraku, je nezbytně nutné provést vhodným způsobem noční umělé osvětlení silnic, chodníků a pěších zón. Pro dostatečné nasvětlení pozemních komunikací a zajištění maximální bezpečnosti a viditelnosti jejich uživatelů je nutno provést klasifikaci daných komunikací. K tomu slouží tzv. třídy osvětlení. Tyto třídy vymezují jakousi důležitost osvětlení komunikací podle druhu činnosti a typových parametrů pro dané úseky komunikací. V první řadě jde o zajištění viditelnosti a zamezení neustálé adaptace zrakového orgánu, kdy může docházet ke snížení rozpoznávání kritických detailů. Zejména se klade důraz pro nasvětlení silnic, jelikož v případě motorových vozidel, která se pohybují mnohdy vysokými rychlostmi je dobrá viditelnost situace před vozidlem klíčová.

3.2 Zatřídění komunikací podle ČSN CEN/TR 13201-1

Jak již bylo řečeno dříve, 1.10.2016 vešla v platnost náhrada ČSN CEN/TR 13201-1 z roku 2007, která mění koncept zatříd'ování komunikací a určitým způsobem jej zjednodušuje. Jedná se o technickou zprávu, která poskytuje návod k výběru tříd osvětlení komunikací. Tyto třídy se odvíjejí od různých světelných situací, jako jsou silnice, konfliktní oblasti a oblasti pro pěší a nízkorychlostní dopravu. Každá z těchto tříd je určována sadou pomocných parametrů; typové rychlosti uživatele, hustoty a složení dopravy, funkce a prostorové uspořádání komunikace a environmentální podmínky. [1]

Stejně jako uživatelé různých pozemních komunikací mají různé požadavky na viditelnost, odvíjí se tyto požadavky také ve volbě tříd osvětlení. Požadavky na zrakový úkon se využívají při rozhodovací analýze popsané dále v této práci.

3.2.1 Třídy osvětlení pro motorová vozidla (M)

Třídy osvětlení M jsou určeny pro vozidla, pohybující se po silnicích nebo v některých případech i rychlostních komunikacích či dálnicích. Výběr těchto tříd záleží také na prostorovém uspořádání relevantních oblastí.

Určení třídy osvětlení komunikace je provedeno pomocí váhových kritérií zmíněných parametrů. Váhové kritérium se označuje V_w (weighting value) a udává váhu daného parametru vůči ostatním.

Typová rychlost uživatele

Jedná se o rychlost vozidla, pro kterou je daný úsek komunikace navržen v souvislosti s jejím prostorovým uspořádáním a funkcí (maximální dovolená rychlost vozidla za daných klimatických podmínek a stavu vozovky). [1]

Rychlost se dále dělí do čtyř podskupin závislejících na hodnotě uvažované maximální dovolené rychlosti na daném úseku komunikace. Tyto skupiny jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 - Hodnocení rychlosti uživatele komunikace [1]

Rychlost uživatele komunikace	Uvažovaná rychlost	V_w
Velmi vysoká	≥ 100 km/h	2
Vysoká	$70 \div 100$ km/h	1
Střední	$40 \div 70$ km/h	-1
Nízká	≤ 40 km/h	-2

Těmto skupinám se následně přidělují jednotlivé hodnoty V_w .

Hustota provozu

Znamená průměrnou hodnotu počtu vozidel, užívajících daný úsek komunikace nebo jízdního pásu. Obvykle se udává v počtu vozidel na kilometr, případně počtu vozidel na kilometr na jízdní pás. Přidělení vah je uvedeno v tabulce 3. [1]

Tab. 3 - Hodnocení hustoty provozu [1]

Hustota provozu	Pro rychlostní komunikace a víceproudé silnice	Pro dvouproudé silnice	V_w
Vysoká	$> 65\%$ zamýšlené kapacity	$> 45\%$ zamýšlené kapacity	1
Střední	$35\% \div 65\%$ zamýšlené kapacity	$15\% \div 45\%$ zamýšlené kapacity	0
Nízká	$< 35\%$ zamýšlené kapacity	$< 15\%$ zamýšlené kapacity	-1

Složení dopravy

Zastoupení jednotlivých typů uživatelů, pohybujících se po určeném úseku komunikace, směrové uspořádání a využití jízdních pásů (částečně zastoupeno prostorové uspořádání a vliv dopravy). Norma tento parametr zjednodušuje na tři skupiny uvedené v tabulce 4. [1]

Tab. 4 - Hodnocení složení dopravy [1]

Složení dopravy	V_w
Složená s velkým podílem nemotorových vozidel	2
Složená	1
Pouze motorová vozidla	0

Rozdělení jízdních pásů

Tento parametr řeší, zdali je na daném úseku komunikace provedeno fyzické oddělení jízdních pásů pomocí betonových zábran, či zábradlí. Pokud je použito oddělení jízdních pásů, nabývá koeficient V_w hodnoty 0 a pokud není použito oddělení, nabývá hodnoty 1. [1]

Hustota křížení

Udává hustotu úrovnových a mimoúrovňových křižovatek na kilometr délky komunikace a také vzdálenosti mezi mosty. Třídění je uvedeno v tabulce 5. [1]

Tab. 5 - Hodnocení hustoty křížení [1]

Hustota křížení	Křižovatky/km	Mimoúrovňové křížení, vzdálenosti mostů, km	V_w
Vysoká	> 3	< 3	1
Průměrná	≤ 3	≥ 3	0

Parkující vozidla

Hodnotí přítomnost parkujících vozidel na daném úseku komunikace. Hodnota V_w pro přítomnost parkujících vozidel je 1 a pokud nejsou přítomna vozidla, pak nabývá hodnoty 0. [1]

Jas okolí

Hodnotí posuzované úrovně jasu okolí, zahrnující jas výloh, reklamních poutačů apod. Třídění je uvedeno v tabulce 6. [1]

Tab. 6 - Hodnocení jasu okolí [1]

Jas okolí	Pro rychlostní komunikace a víceproudé silnice	V_w
Vysoký	výlohy, reklamní poutače, sportoviště, skladovací prostory	1
Střední	obvyklý stav	0
Nízký		-1

Složitost navigace

Stupeň nezbytného úsilí účastníka silničního provozu, potřebného v důsledku zpracovávaných informací k výběru cesty a udržování rychlosti a směru na daném úseku vozovky. Zatřídění je uvedeno v tabulce 7. [1]

Tab. 7 - Hodnocení složitosti navigace [1]

Složitost navigace	
Velmi složitá	2
Složitá	1
Snadná	0

3.2.2 Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti (C)

Konfliktní oblastí je rozuměna oblast, kde se kříží komunikace pro motorová vozidla nebo místa, kde se překrývají s oblastmi používané jiným typem uživatelů. Například sloučení s komunikací pro pěší či cyklisty (sloučení více relevantních oblastí v jednu relevantní oblast). Jako konfliktní oblasti jsou myšleny také místa, kde dochází ke změně počtu jízdních pruhů nebo kde dochází ke změně prostorového uspořádání komunikace jež může znamenat potenciální možnost kolize mezi vozidly, vozidly s pěšími či cyklisty nebo vozidly s jinými objekty.

V tomto případě je tedy doporučeno klást důraz na intenzitu osvětlení a norma udává průnik třídy M s třídou C na základě odraznosti povrchu vozovky ρ_0 . Pro hodnocení osvětlení konfliktních oblastí jsou použita stejná kritéria jako pro třídu osvětlení M, nicméně jsou zde zpřísněny požadavky a tedy váhy jednotlivých kritérií jsou vyšší o jeden stupeň. [1]

Tab. 8 - Volba třídy C ke třídě M na základě ρ_0 [1]

	Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Třída C pro ρ_0	$\leq 0,05 \text{ cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
	$0,05 \div 0,08 \text{ cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
	$> 0,09 \text{ cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

3.2.3 Třídy osvětlení pro pěší a komunikace s nízkými rychlostmi (P)

Tyto třídy osvětlení jsou určeny převážně pro chodce a cyklisty, kteří se pohybují po chodnících a stezkách pro cyklisty a zahrnují také pohyb motorových vozidel v obytných zónách. Obecně vzato jde o oblasti s rychlostmi nižšími, než je 40 km/h. Je nutno si uvědomit, že nároky na viditelnost jsou pro chodce nesrovnatelně menší než pro řidiče motorového vozidla. Chodci se pohybují mnohem menšími rychlostmi a případné překážky tedy vidí s velkým předstihem. Zatřídění se provádí opět podle váhových kritérií a to podle následujících parametrů. [1]

Rychlost uživatele

Tab. 9 - Rychlost uživatele pro třídu P [1]

Rychlost uživatele	Uvažovaná rychlost	V_w
Nízká	$\leq 40 \text{ km/h}$	1
Velmi nízká	chůze	0

Rušnost komunikace

Tab. 10 - Rušnost komunikace pro třídu P [1]

Rušnost	V_w
Rušná	1
Normální	0
Klidná	-1

Složení dopravy

Tab. 11 - Složení dopravy ve třídě P [1]

Složení dopravy	V_w
Pěší, cyklisté a motorová doprava	2
Pěší a motorová doprava	1
Pěší a cyklisté	1
Pouze pěší	0
Pouze cyklisté	0

Parkující vozidla a jas okolí

Tyto parametry mají stejné možnosti volby vah jako třída M

Rozpoznání obličeje

Jedná se o zrakový úkon chodce, který se skládá z rozeznávání tváří na určitou vzdálenost a která umožňuje vyhnout se konfliktu, případně poskytuje možnost nezbytné obrany.

3.2.4 Příklad zatřídění

Pro každé kritérium je nutno zvolit jednu z variant. Každá varianta má stanovenou váhu. Pokud tyto váhy sečteme, dostaneme takzvaný sumační koeficient VWS (Sum of the weighting values). Jako příklad poslouží zatřídění dle tabulky 12. Jedná se o modelovou komunikaci pro průtah velkým městem s větším množstvím mostů a sjezdů.

Tab. 12 - Příklad zatřídění pro modelovou komunikaci

Parametr	Volba	Upřesnění		Váha V_w
Typová rychlost	Vysoká	70 km/h < v < 100 km/h		1
Hustota provozu	Vysoká	> 65% celkové kapacity		1
Složení dopravy	Pouze motorová vozidla			0
Rozdělení jízdních pásů	Ano			0
Hustota křížení	Vysoká	> 3	< 3	1
Parkující vozidla	Ne			0
Jas okolí	Střední	Obvyklý stav		0
Složitost navigace	Složitá			1
			VWS	4

Tato komunikace je určena pouze pro motorová vozidla, maximální povolená rychlost je 90 km/h a je velmi vytížená. Dle dostupných údajů se určí hodnoty vah pro jednotlivé parametry; jejich součet pak dává sumační koeficient, který se použije pro výběr samotné třídy osvětlení. V modelovém případě je VWS rovno číslu 4. Samotná třída se určuje dle výše zmíněného vztahu 1.2.1.1. Výsledná třída osvětlení modelové komunikace je tedy podle ČSN CEN/TR 13201-1 **M2**. Druhá část této normy pak udává hodnoty jasů vozovky a rovnoměrnosti osvětlení jak v podélném, tak příčném směru. Parametry pro třídu M2 jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 - Parametry pro osvětlení komunikace třídy M2 [2]

Třída	Osvětlení povrchu vozovky pro suchý a mokrý povrch vozovky				Prahový přírůstek	Osvětlení okolí
M2	L (cd·m⁻²)	U_o	U_i	U_{ow}	f_{Ti} (%)	R_{EI}
	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,35

Zvláštní formou zatřídění je časové zatřídění komunikace podle jejího využití. Jednotlivé třídy se určí pro několik časových úseků během dne, což může vést ke změně třídy osvětlení komunikace v závislosti na denní době. Tyto údaje se pak dají zpracovat a využít pro řízení soustav veřejného osvětlení.

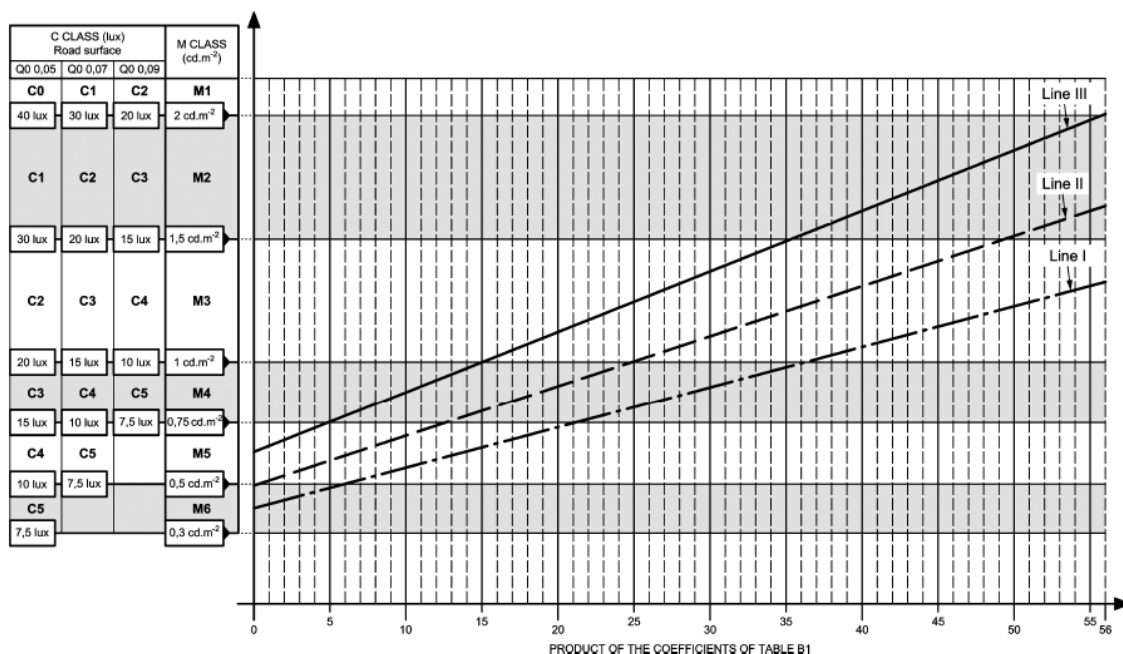
3.3 Alternativní metoda pro zatřídění komunikací dle ČSN CEN/TR 13201-1

Tato metoda je založena na funkčním nebo administrativním zatřídění komunikace např. ministerstvem dopravy nebo ŘSD. Norma pro tuto metodu udává typovou tabulku s návodem k výběru třídy komunikace.

Tab. 14 - Tabulka pro alternativní zatřídění komunikace třídy M [1]

Roads or streets designation	CARRIAGEWAY & SPEED LIMIT			TRAFFIC											A	B	C	Overall coefficient	
	Carriageway		Speed	Coefficients carriageway speed	Composition				Volume			Ambient luminosity	Mental task load	Product speed traffic	Ambient luminosity	Mental task load	A × B or A × C	A × B × C	
	single	separated	km/h		Coefficients				Coefficients			Coefficients							
					1	2	3	4	3	2	1	1	1						
					Not motorized	Motorized only	Mixed traffic	Mixed mainly not motorized	High	Medium	Low	Low to moderate							
Interurban motorway		X	≤ 130	5		2			3	2		●	●	30	—	●	38		
										2				20			25		
											1			10			12		
Urban motorway Expressway		X	≤ 110	5		2			3	2		—	—		●	●	38	47	
										2							25	31	
											1						12	16	
Interurban main road	X		≤ 90	5			3		3	2		●	●	45	—	●	56		
											1			30			38		
														15			19		
Main crossing road	X		≤ 70	4			3		3	2		—	—		●	●	45	56	
										2							30	37	
											1						15	19	
Main urban road Boulevard - Avenue	X		≤ 50	3			3		3	2		—	—		●	●	34	42	
											1						23	28	
																	11	14	
Secondary urban road Avenue - Street	X		≤ 50	3			3			2		●	●	18	●	—	22		
											1			9			11		
Urban service road	X		≤ 50	2			3			2		●	●	12	●	—	15		
											1			6			8		
Urban road Dangerous Intersections Village crossing	X		≤ 50	3			3		3	2		●	●	27	●	●	34	42	
											1			18			23	28	
														9			11	14	
Urban road in dangerous section	X		≤ 30	1				4	3	2		●	●	12	●	●	15	18	
											1			8			10	12	
														4			5	7	

Zjednodušeně lze říci, že pomocí typové tabulky se zvolí jeden z dostupných druhů komunikace (hlavní tah městem apod.) s určitou typovou rychlostí, u které se pak pomocí hustoty dopravy zvolí určité číslo. Toto číslo reprezentuje hodnotu na vodorovné ose přiloženého grafu závislosti tříd osvětlení na těchto „váhách.“ Vybrané číslo je umístěno ve sloupci, který reprezentuje číslo čáry, dle které se má zatřídňující řídit. Potřebné třídy osvětlení se určí na průsečíku dané čáry s vybraným číslem.

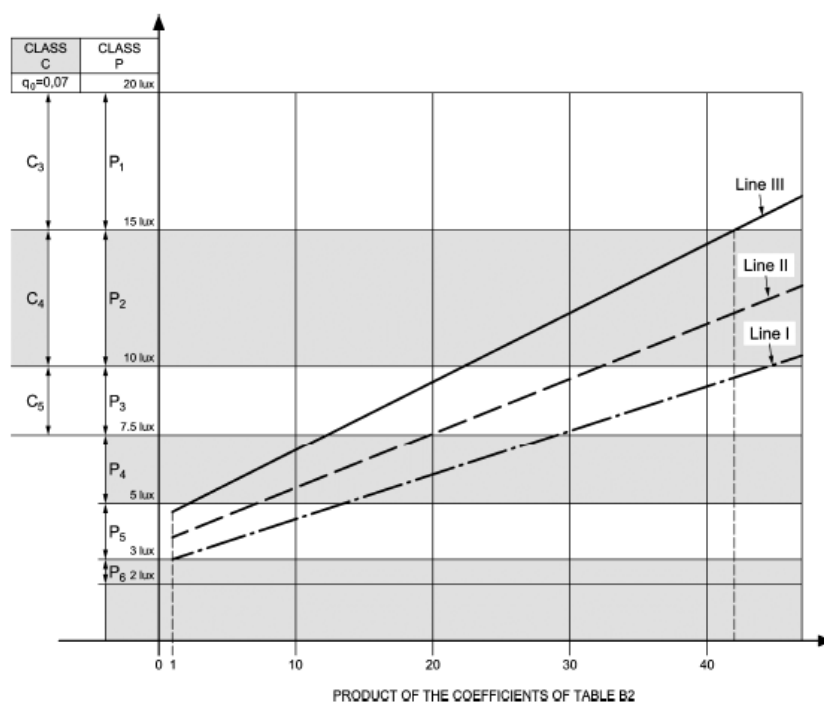


Obr. 9 - Čáry závislosti tříd osvětlení pro alternativní metodu zařazení komunikace třídy M [1]

Pro příklad, pokud je zvolena dálnice s rychlostí větší nebo rovno 130 km/h s vysokou hustotou provozu, volím čáru 1 nebo 2 a dostávám tak při daných číslech buďto třídu M3 nebo M4. Obdobně je tomu i při volbě třídy osvětlení pro pěší.

Tab. 15 - Tabulka pro alternativní zařazení komunikace třídy P [1]

P Class	SPEED LIMIT		TRAFFIC						Ambient luminosity	Mental task load Face recognition	A	B	C	Overall coefficient							
	km/h	Coefficient	Composition			Volume					Product Speed x Traffic composition volume	Ambient luminosity	Mental task load - Face Recognition	A x B or A x C	A x B x C						
			Mixed	Pedestrians and Cycles	Pedestrians or Cycles	High	Medium	Low													
			coefficients													coefficients					
			3	2	1	3	2	1								1	1	Line I *	1,25	1,25	Line II *
Low speed Roads with traffic priority - Mopeds Cycles and Pedestrians	S < 40	3	3		3			—	—		●	●	34	42							
						2							23	28							
							1						12	14							
Roads without motorized traffic		2		2		3			●	●	12	●	●	15	19						
							2				8			10	13						
								1			4			5	7						
Walkway	Pedestrian speed	1			1	3			●	●	3	●	●	4	5						
							2				2	●	●	3	4						
								1			1			2	3						
Bicycle path	Bikes only	2			1	3			●	●	6	●	●	8	10						
							2				4	●	●	5	7						
								1			2			3	4						



Obr. 10 - Čáry závislosti tříd osvětlení pro alternativní metodu zatřídění komunikace třídy P [1]

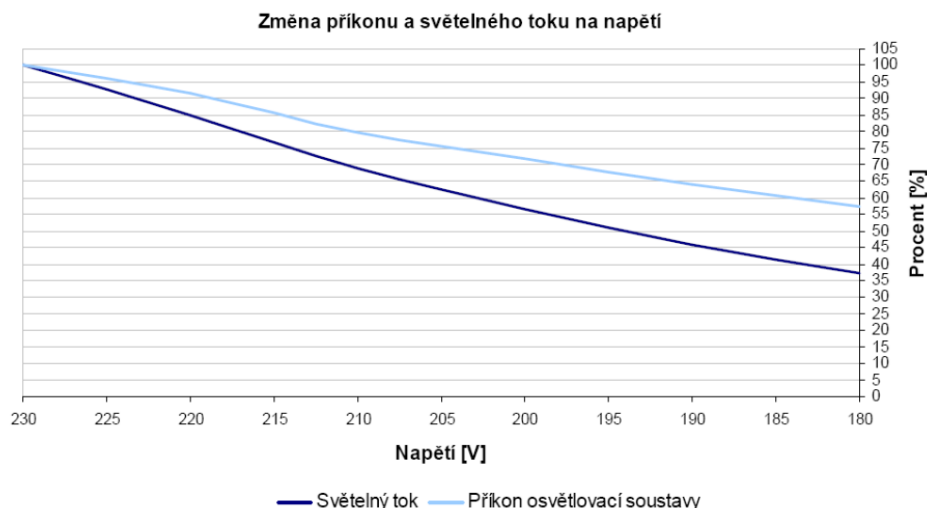
4. Možnosti odhadu dosažitelných úspor

V dnešní době je nastaven určitý trend, jehož důsledkem je velké snižování provozních nákladů na provoz osvětlovacích soustav ať už vnitřního nebo venkovního osvětlení. Provádějí se energetické audity stávajících osvětlovacích soustav a na jejich základě dochází k jejich rekonstrukcím. Tyto rekonstrukce jsou však mnohdy prováděny neuváženě a bez provedení patřičných světelně technických výpočtů. S vidinou velkých finančních úspor na účtech za elektrickou energii se zadavatelé ženou za svítidly s nižšími příkony, které v drtivé většině případů ani zdaleka nesplňují požadavky na minimální osvětlovací hladinu daného prostoru. Proto je nutné přistupovat k rekonstrukcím zastaralých osvětlovacích soustav systematicky.

Většina soustav veřejného osvětlení v České republice je v současné době provozována za hranicí své životnosti. Tyto osvětlovací soustavy byly stavěny před rokem 1990 a podle dostupných informací byly zhruba 2,5 krát předimenzovány [6]. Je tedy logické, že energetická náročnost těchto soustav je opravdu značná. V posledních desetiletích se tedy přistupuje ke snižování instalovaných příkonů soustav veřejného osvětlení za účelem snížení spotřeby elektrické energie. Používají se moderní světelné zdroje, svítidla a technologické postupy, které spolu s pravidelnou údržbou přispívají k lepšímu technickému i ekonomickému stavu provozu soustav veřejného osvětlení. K tomu slouží i, v posledních letech, v hojné míře zaváděná podrobná pasportizace a sestavování generelů veřejného osvětlení.

4.1 Řízení a regulace soustav VO

Nejjednodušším způsobem úspor elektrické energie při provozu soustav veřejného osvětlení je jejich řízení. Pomocí dobrého řízení veřejného osvětlení lze dosáhnout značného snížení spotřeby elektrické energie, což může být 30 – 40%. Řízení veřejného osvětlení je nejlepší provádět v době, kdy dochází ke snížení hustoty provozu nasvětlovaného úseku komunikace, což znamená zejména v pokročilých nočních hodinách. V této době také dochází ke snižování jasu okolí, jelikož se vypíná osvětlení v bytech, domech a většině reklamních výloh přilehlých k veřejným komunikacím. [6]



Obr. 11 - Příklad změny světelného toku vysokotlakých Na výbojek v závislosti na příkonu osvětlovací soustavy [6]

Rozdělujeme tři základní typy řízení osvětlovacích soustav podle použitých světelných zdrojů. Pro vysokotlaké sodíkové výbojky připadají v úvahu amplitudová a fázová regulace. Pro systémy s LED se pak používá pulsně šířková modulace (PWM).

4.1.1 Řízení a regulace soustav s vysokotlakou sodíkovou výbojkou

Amplitudová regulace

Amplitudová regulace pracuje na principu změny efektivní hodnoty amplitudy napětí buďto pomocí standartního indukčního předřadníku nebo elektronického předřadníku s možností stmívání.

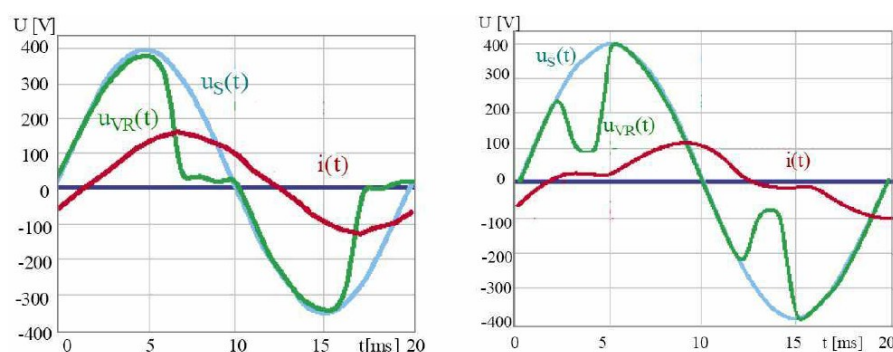
Indukční předřadníky jsou vzhledem k malé rozšířenosti elektronických předřadníků nejrozšířenějším způsobem regulace veřejného osvětlení. Fungují na principu změny impedance tlumivky pomocí přepínání odboček na tlumivce. Tím dochází ke změně velikosti světelného toku výbojky. Nevýhodou regulace vysokotlakých výbojek indukčními předřadníky je to, že regulace probíhá skokově. Navíc tyto výbojky při regulaci snižují svůj měrný výkon, kdy se dostáváme na polovinu jmenovitého světelného toku při snížení příkonu svítidla o 30%. [6][7][8]

Samotná regulace probíhá nejčastěji v rozvaděči veřejného osvětlení. Ten je vybaven regulačním transformátorem (s odbočkami) nebo autotransformátorem, který je zapojen v sérii s tímto rozvaděčem. Tento transformátor pak umožňuje buďto plynulou (autotransformátor) nebo skokovou víceúrovňovou změnu příkonu napájecího úseku

veřejného osvětlení (odbočkový transformátor). Minimální udržovaná hodnota napětí však musí být vztažena vůči nejvzdálenějšímu svítidlu v napájecí větvi a to tak, že uvažujeme, že úbytek napětí na posledním svítidle nesmí překročit 5% (čemuž odpovídá napětí cca 191,5 V). Dimenzování délky napájecí větve je tak limitováno celkovým příkonem soustavy a úbytky napětí podél napájecí trasy. Napětí na samotné výbojce by pak nemělo překročit hodnotu 180 V, protože by se dostala do nestabilního stavu a poté by i malá dynamická změna napětí znamenala možnost zhasnutí výbojky. [6][8]

Fázová regulace

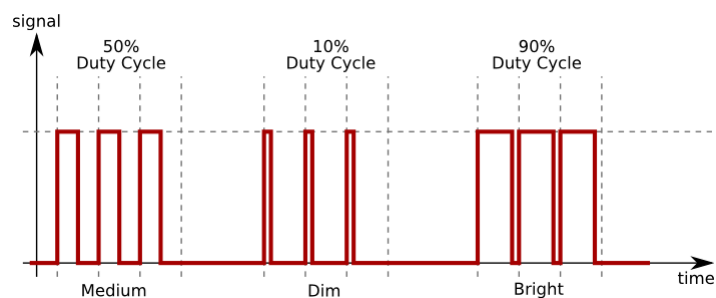
Také se jedná o regulaci efektivní hodnoty napětí, oproti amplitudové regulaci však není měněna amplituda tohoto napětí. Efektivní hodnota napětí je měněna pomocí změny sklonu vzestupné a sestupné hrany průběhu napětí. Provádí se pomocí 1f měniče s IGBT tranzistory a nejčastěji se využívá regulace sestupné hrany sinusovky.



Obr. 12 - Princip fázové regulace (vlevo sestupnou hranou a vpravo vzestupnou) [6]

4.1.2 Řízení a regulace LED pomocí PWM regulace

PWM, neboli pulsně šířková modulace pracuje se změnou střídy obdélníkových pulzů. V praxi to znamená, že programové vybavení elektronického předřadníku mění délku pulzu, přičemž čím delší pulz je, tím vyšší světelný tok svítidlo vyzařuje. Pulsně šířková regulace se nejčastěji volí se síťovou frekvencí 50 Hz z toho důvodu, aby nedošlo ke stroboskopickému jevu a lidské oko nezaznamenalo blikání LED svítidla.



Obr. 13 - Princip PWM regulace LED čipu. [17]

4.1.3 Způsoby regulace

Astronomické hodiny

V poslední době se nejčastěji používají tři typy regulace. Regulace pomocí astronomických hodin, centralizované a decentralizované řízení. Astronomické hodiny jsou elektronický přístroj, který má v sobě zabudovány hodiny s přesným aktuálním časem. Těmto hodinám přísluší časová tabulka, ve které je zapsán časový cyklus spínání veřejného osvětlení. Dochází tak k automatickému vyrovnávání délky dne během roku. Časová tabulka se dá také nastavit dle přání zákazníka, kdy je potřeba spínat VO v jiném čase pro různá místa (např. doliny, kde slunce zapadne dříve nebo naopak kopce, které jsou osvětleny nejdéle).

Centralizovaný systém

Centralizovaný systém pracuje tak, že jsou údaje a pokyny k chodu osvětlovací soustavy soustředěny do jednoho centrálního místa celé soustavy, odkud dochází k jejímu řízení. Svítidla jsou vybavena regulační jednotkou povětšinou s komunikačním rozhraním DALI, která je prostřednictvím PLC článku spojena s daným rozvaděčem, do kterého přicházejí příkazy z dispečerského stanoviště. PLC článek namoduluje datové signály potřebné k řízení jako vysokofrekvenční signál na základní sinusovku o napětí 230 V a tak dojde k přenosu pokynu až do řídicího převodníku DALI, který umožňuje řídit VO v reálném čase.

Decentralizovaný systém

Decentralizovaný systém je obdoba centralizovaného systému, avšak není zde přímé propojení každého svítidla s centrálním dispečerským počítačem. Signály jsou soustředěny pouze do rozvaděčů každé větve a tyto rozvaděče předávají informace pouze v případě, že jsou vyžádány (sběr dat, změna programu, poruchové stavy).

4.2 Ukazatelé energetické náročnosti

Ukazatelé energetické náročnosti stanovují možné energetické úspory pro dané uspořádání soustavy VO. K jejich určení je potřeba znát typ použitých svítidel a jejich typové parametry. Jak již bylo řečeno v kapitole 3, je nutné odpovídající zatřídění uvažované komunikace, přičemž pro nejvyšší energetickou účinnost soustavy VO je nutné zvolit více tříd osvětlení dle jejího časového využití. Jde o to, že jestliže je komunikace např. v době od 2:00 do 6:00 využívána jen zanedbatelným počtem vozidel, není nutné mít soustavu zatříděnou např. do třídy M2, ale lze snížit zatřídění např. na M4. Tím je docíleno toho, že snížíme požadovanou hodnotu osvětlenosti vozovky, což vyústí ve snížení spotřeby elektrické energie.

Energetické ukazatele jsou zavedeny novým dokumentem v souboru norem ČSN EN 13201 a to normou ČSN EN 13201-5 platnou od června 2016. Norma se zabývá stanovení energetické náročnosti osvětlovacích soustav VO a používá k tomu dva ukazatele; PDI (Power Density Indicator) a AECI (Annual Energy Consumption Indicator). Tyto ukazatele nelze používat samostatně, vždy se musí uvažovat oba najednou. [5]

4.2.1 PDI – Power Density Indicator (Ukazatel Hustoty Výkonu)

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)} \quad (4.2.1.1)$$

Vztah 4.2.1.1 slouží k výpočtu hustoty výkonu na jeden metr čtvereční plochy osvětlené komunikace ($\text{mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^2$). Tato komunikace musí dle ČSN EN 13201-5 splňovat nároky na minimální požadovanou osvětlenost dle třídy komunikace. Pokud se třída komunikace v průběhu noci či roční doby mění (např. vlivem změny hustoty dopravy), měl by být ukazatel PDI počítán pro každou třídu zvlášť, případně jako průměrná hodnota za uvažované období. [5]

Průměrná horizontální osvětlenost E_i

Pro třídy osvětlení komunikací P a C, které jsou založeny na hodnotě minimální udržované hodnotě průměrné osvětlenosti vozovky je doporučeno, aby byla tato osvětlenost počítána na základě normy ČSN EN 13201-3. Pro třídy osvětlení M, které jsou založeny na průměrném jasu povrchu komunikace se za E_i ve vztahu 4.2.1.1 dosadí hodnoty osvětlenosti počítané dle ČSN EN 13201-3 ve stejné výpočetní mřížce jako hodnoty jasů vozovky. [5]

Velkým problémem některých osvětlovacích soustav VO je to, že jsou tzv. přesvětlovány na mnohem vyšší hodnoty než stanovuje ČSN EN 13201-2 pro zvolenou třídu komunikace. Je tedy nutné zjistit, jestli je toto dáno nesprávným návrhem osvětlovací soustavy nebo nespécifikovanými parametry, které nelze zahrnout do návrhu koncepce osvětlovací soustavy. Doporučuje se také, aby osvětlenost komunikace nepřekročila požadavky vyšší třídy osvětlení ať už z důvodů energetické náročnosti soustavy či vlivu na okolní prostředí. [5]

Celkový příkon soustavy veřejného osvětlení P

$$P = \sum_{k=1}^{n_{lp}} P_k + P_{ad} \quad (4.2.1.2)$$

Celkový příkon soustavy znamená součet příkonů všech světelných zdrojů, řídicích systémů a ostatních elektrických zařízení potřebných k provozu či řízení této soustavy. Celkový příkon by měl být počítán pro celou osvětlovací soustavu nebo pro reprezentativní část soustavy, přičemž je stanoven dle výše zmíněného vztahu. [5]

Ve vztahu 4.2.1.2 znamená P_k příkon k světelných bodů (zahrnuje jak světelný zdroj, tak veškeré elektrické příslušenství přímo potřebné k funkci daného světelného bodu) a P_{ad} příkon všech zařízení, která nejsou bezprostředně spjata s funkcí konkrétního světelného bodu, ale jsou nutné k provozu celé osvětlovací soustavy. Veličina n_{lp} značí počet světelných bodů buďto celé soustavy nebo vybraného úseku. [5]

V případě změny třídy osvětlení komunikace v průběhu daného časového úseku by měl být celkový příkon soustavy počítán vždy pro jednotlivé třídy osvětlení. [5]

Plocha osvětlované oblasti A_i

Plocha oblasti, která je osvětlována soustavou VO by měla být stejná jako plocha použitá při návrhu osvětlovací soustavy a výpočtu parametrů podle ČSN EN 13201-3. [5]

4.2.2 AECI – Annual Energy Consumption Indicator (Ukazatel Roční Spotřeby Elektrické Energie)

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \quad (4.2.2.1)$$

Tento ukazatel závisí na celkové době využití osvětlovací soustavy, třídě osvětlení (třídě osvětlení v případě regulace), účinnosti svítidel v každém časovém úseku, způsobu sledování požadavků na zrakovou pohodu uživatele komunikace a na spotřebě elektrické energie v době nečinnosti osvětlovací soustavy. Fyzikální rozměr tohoto ukazatele je ve $\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$. Ve vztahu 4.2.2.1 P_j určuje příkon soustavy při daném časovém úseku, t_j značí uvažovanou dobu provozu, A osvětlovanou plochu komunikace a m počet časových úseků, pro které je výpočet prováděn. [5]

Pro správné porovnání a sledování energetické náročnosti osvětlovací soustavy bere tento ukazatel v potaz využití roční akumulované elektrické energie, i když se požadavky na osvětlení v průběhu roku mění např. z důvodu změny délky noci a tedy doby potřebné pro provoz veřejného osvětlení, změny hustoty dopravy apod. [5]

Typické hodnoty energetických ukazatelů

Tab. 16 - Typické hodnoty ukazatele PDI v $\text{mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ [5]

Třída osvětlení	Šířka jízdního pásu (m)	Typ svítidla				
		Rtuť	Halogenid	Sodík eliptický	Sodík válcový	LED
M1	7		45		34 - 41	25 - 32
M2	7	100	50		31 - 40	24 - 27
M3	10	85	42	43	31 - 32	25 - 27
	8	83	42	40	30 - 33	27
	7	84	47	40	34 - 38	23 - 25
	6	103	51	43	40 - 44	25 - 28
M4	7	90	60	41 - 47	34 - 42	23
M5	7	86	30	47	38 - 45	24
	6	89	34	53	41 - 51	28
	5	97	41		53	38
	4	116	48		65	46
M6	7	85	37		45 - 49	20 - 27

Tab. 17 - Typické hodnoty ukazatele AECl v kWh·m⁻² [5]

Třída osvětlení	Šířka jízdního pásu (m)	Typ svítidla				
		Rtuť	Halogenid	Sodík eliptický	Sodík válcový	LED
M1	7		5		4 - 5,3	3 - 3,8
M2	7	10,8	4,6		3,2 - 4,2	2,4 - 2,5
M3	10	6	3,4	3	2,3	1,6
	8	6	3,4	3	2,2 - 2,4	1,6
	7	6	3,6	2,8 - 3,1	2,5 - 2,6	1,5
	6	7	3,9	3,2	2,7 - 2,8	1,6
M4	7	5	3,1	2,3 - 2,5	1,8 - 2,4	1,1
M5	7	3,2	0,9	1,7	1,1 - 1,6	0,8
	6	3,4	1	2	1,2 - 1,7	0,9
	5	3,6 - 4	1,2		1,5 - 1,8	1
	4	4,1	1,5		1,7 - 2,3	1,3
M6	7	1,9	0,6		0,2 - 1,2	0,4 - 0,5

4.2.3 Měrný výkon osvětlovací soustavy

Norma ČSN EN 13201-5 určuje mimo základních dvou energetických ukazatelů také způsob výpočtu měrného výkonu osvětlovacích soustav VO. Ten je počítán dle vztahu 4.2.3.1, přičemž C_L značí korekční faktor poloválcové osvětlenosti jasově založených tříd, f_M je celkový udržovací činitel osvětlovací soustavy, U je činitel využití soustavy, R_{LO} je účinnost optických částí svítidla, η_{ls} je účinnost světelného zdroje a η_p účinnost svítidel použitých v soustavě VO. [5]

$$\eta_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot U \cdot R_{LO} \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_p \quad (4.2.3.1)$$

Pokud jsou minimální požadavky pro jednu nebo více uvažovaných osvětlovaných oblastí vyjádřeny jasnem povrchu vozovky, je schopnost osvětlovací soustavy nasvětlit povrch na požadovanou hodnotu poměrně velká či malá buďto v závislosti na koeficientu odraznosti povrchu q_0 (běžně 0,07 cd·m⁻²·lx⁻¹) nebo na směrovosti osvětlení. Z toho důvodu se počítá korekční faktor C_L , který uvažuje nasvětlovanou plochu A_i , případně počet těchto ploch n a světelný tok dopadající na tuto plochu Φ_A . [5]

$$C_L = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_{i,min} \cdot A_i)}{\Phi_A} \quad (4.2.3.2)$$

Pro třídy, kde je hodnota osvětlení vozovky dána nikoli jasnem, ale osvětleností, je nutný přepočet pomocí koeficientu odraznosti asfaltu. [5]

$$E_i = \frac{L_i}{q_0} \quad (4.2.3.3)$$

Činitel využití osvětlovací soustavy se vypočte jako poměr světelného toku dopadajícího na uvažovanou plochu a součtu světelných toků všech svítidel této soustavy. [5]

$$U = \frac{\Phi_A}{\eta_{ls} \cdot \Phi_{ls} \cdot R_{LO}} \quad (4.2.3.4)$$

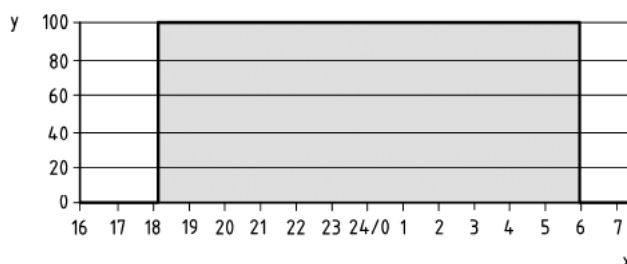
Poslední neznámou ve vztahu 4.2.3.1 je účinnost svítidel, která je dána poměrem příkonu světelného zdroje a příkonu svítidla (včetně elektrických částí v něm umístěných). [5]

$$\eta_p = \frac{P_{ls}}{P} \quad (4.2.3.5)$$

4.2.4 Příklady řízení soustav veřejného osvětlení

Jednoúrovňové řízení příkonu

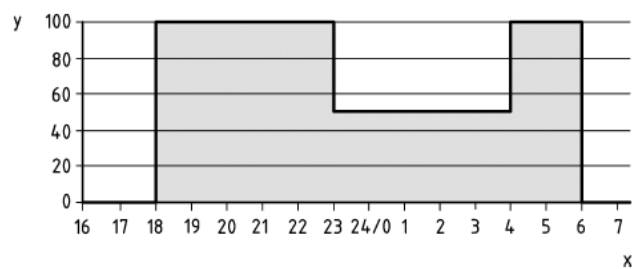
Tento typ řízení je prosté zapnutí a vypnutí osvětlovací soustavy. Tímto způsobem byly řízeny soustavy v době, kdy nebyla dostupná regulace osvětlovacích soustav a spotřeba elektrické energie tak byla značná. V obrázcích 14 – 16 značí osa x čas a osa y procentuální příkon osvětlovací soustavy.



Obr. 14 – Jednoúrovňové řízení [5]

Víceúrovňové řízení příkonu

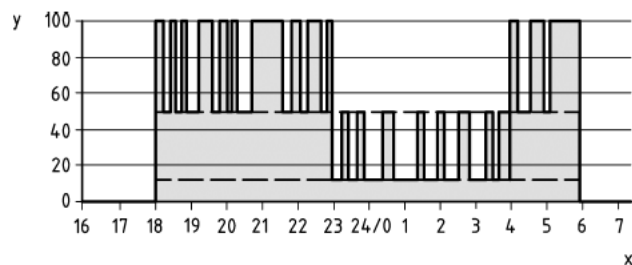
Víceúrovňové řízení příkonu osvětlovací soustavy sestává většinou ze tří hodnot příkonu. Nejdříve se zapne osvětlovací soustava na plný příkon a později (např. při snížení hustoty dopravy) dojde ke snížení na polovinu, následně opět ke zvýšení na 100% a poté dojde k úplnému vypnutí veřejného osvětlení.



Obr. 15 - Řízení víceúrovňové s příkonem 100% a 50% [5]

Chytré řízení příkonu

Nejmodernějším způsobem regulace příkonu je řízení pomocí čidel pohybu. Funkce tohoto zařízení je velmi jednoduchá, když pohybové čidlo zachytí ve sledovaném úseku pohybující se vozidlo nebo jiného uživatele komunikace, dojde ke zvýšení příkonu a tím zvýšení hladiny osvětlení. Při výpočtu AECI je nutné stanovit předpokládanou dobu využití pro jednotlivé třídy osvětlení po celou dobu roku.



Obr. 16 - Řízení mnohaúrovňové ve spojení s detektory pohybu [5]

5. Posouzení stávajícího stavu a návrh obnovy VO vybraných částí města Petřvald

Praktickou částí této práce je posouzení stavu veřejného osvětlení vybrané obce, provedení výpočtů energetické náročnosti a následný návrh obnovy osvětlovací soustavy veřejného osvětlení.

5.1 Stávající stav veřejného osvětlení

Město Petřvald se nachází v okrese Karviná a je poměrně blízko největšímu krajskému městu, Ostravě. Vedení města v posledních letech přistoupilo na postupnou rekonstrukci soustavy veřejného osvětlení, přičemž tato rekonstrukce probíhá podle dostupných informací bez příslušných světelně technických výpočtů a tedy hladiny osvětlenosti nemusí splňovat doporučené normativní hodnoty. Nutno podotknout, že stávající soubor norem ČSN EN 13201 není závazný. Je ale dobré se doporučenými hodnotami řídit a za závazné je přijmout, neboť uvedené hodnoty jsou stanoveny na základě dlouhodobých typových měření, průzkumů a vyhodnocení.

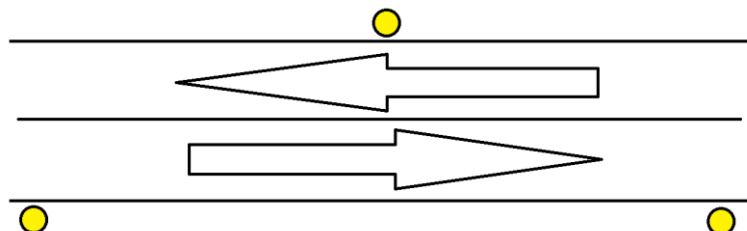
Veřejné osvětlení města Petřvald je momentálně ve stavu nevyhovujícím jak po stránce světelné, tak mnohdy i elektrické. Poskytnuta byla pasportizace VO vedená firmou DIGIS s.r.o. Z této bylo zjištěno, že se systém veřejného osvětlení skládá celkem z 1457 kusů svítidel z nichž je drtivá většina původních, osazených povětšinou vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Nová svítidla, instalovaná při probíhající rekonstrukci jsou typu LED a jsou dle informací řízeny astronomickými hodinami seřízenými podle potřeb města Petřvald. Při stávající rekonstrukci byla provedena také bezpečnostní opatření v podobě přisvětlení frekventovaných přechodů, hlavně na ulici Ostravská, kterážto je hlavním tahem městem. Celá osvětlovací soustava je napájena z dvaceti rozvaděčů, které vždy spínají strategická pole veřejného osvětlení v jednotlivých částech města.

5.1.1 Měření vybraných komunikací

Měření na ulici „Ostravská“

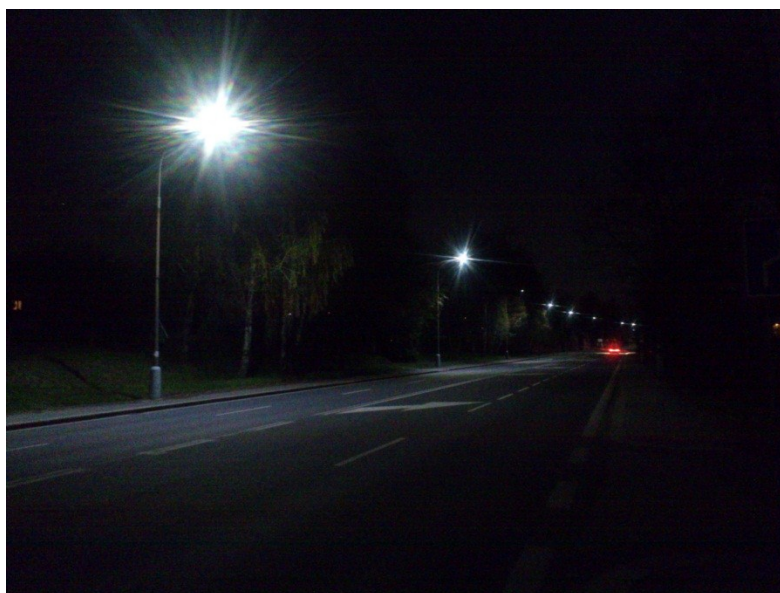
Ulice Ostravská tvoří hlavní tah městem, po kterém denně projedou tisíce vozidel ať už směrem do Ostravy či Orlové. Tato „dopravní tepna“ již prošla částečnou rekonstrukcí, přičemž byla stará svítidla s vysokotlakými sodíkovými výbojkami (Elektrosvit 4442315) nekoncepčně nahrazena modernějšími svítidly LED (Philips Clearway a EKO-LED Zeus). Jak je z dostupných informací a hlavně z vlastních zkušeností známo, tak osvětlení zmíněné

komunikace je dlouhodobě nevyhovující a to i po provedené rekonstrukci. Při výstavbě byla osvětlovací soustava projektována jako vystřídaná (viz obrázek 17) a jako vystřídaná také byla jistou dobu provozována, časem však došlo k nenávratnému poškození rozvodných kabelů jedné strany osvětlení komunikace. Od té doby je v provozu pouze jedna část vystřídané soustavy a osvětlení je tedy provozováno jako jednostranné.



Obr. 17 - Znázornění vystřídané soustavy

Osvětlovací soustava na ulici Ostravská byla v době měření složena celkem z 192 kusů svítidel, z nichž řada nebyla z výše zmíněných důvodů v provozu. U osmi svítidel nebyl udán typ ani příkon, nicméně je to zanedbatelný počet a tedy celkový příkon svítidel instalovaných na ulici Ostravské činí 25 244 W. Pokud bychom uvažovali provoz původní nerekonstruované a oboustranně funkční soustavy, činí tento příkon 26 400 W. Světelné podmínky v době měření jsou znázorněny na obrázku 18.



Obr. 18 - Světelné podmínky při měření na prvním typovém úseku

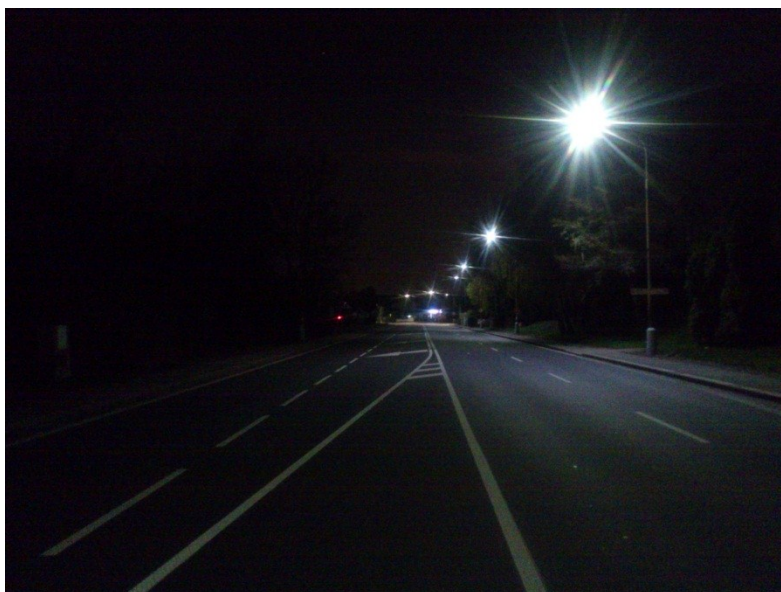
Na komunikaci Ostravská byly měřeny dva vytipované úseky, aby bylo měření a z něj vyvozené závěry nezpochybnitelné. Jedná se o úsek zahrnující svítidla 150, 160 a 161

o délce 42 m (obrázek 18) a úsek zahrnující svítidla 282, 286 a 288 o stejné délce (obrázek 19).

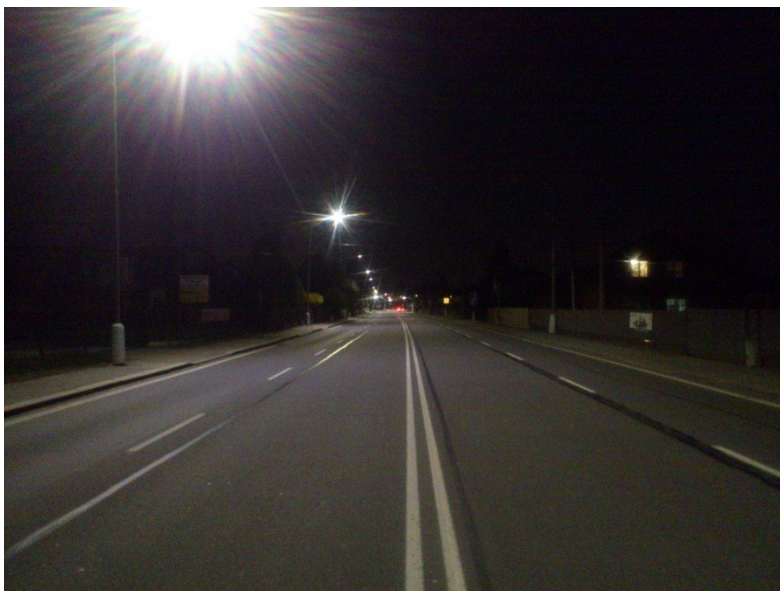


Obr. 19 - Světelné podmínky při měření druhého typového úseku

Tyto úseky jsou již rekonstruované a nachází se v nich LED svítidla, konkrétně v prvním úseku svítidla EKO-LED ZEUS s příkonem 70 W a v druhém úseku svítidla Philips Clearway s příkonem 103 W. Oblasti byly zvoleny subjektivně podle pocitového množství světla dopadajícího na komunikaci jako špatně osvětlené (úsek 1) a lépe osvětlené (úsek 2). Obrázky 20 a 21 znázorňují množství světla na komunikaci v pohledu z dělicího pruhu.



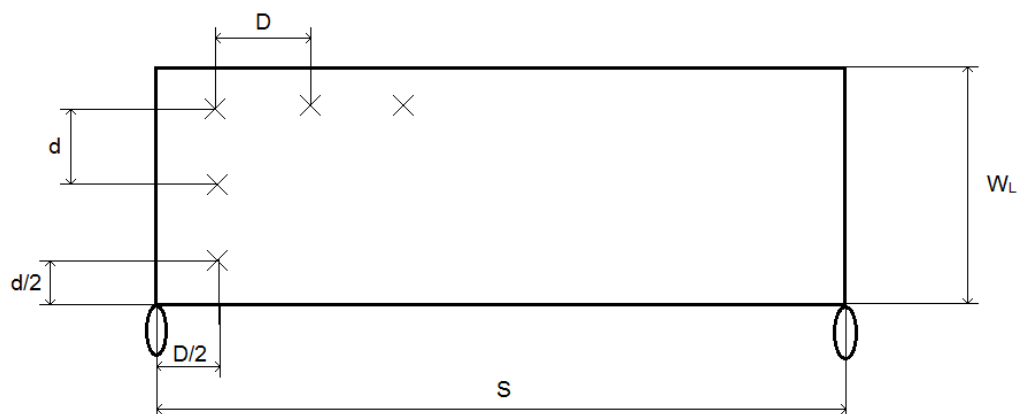
Obr. 20 - První měřený úsek - pohled z dělicího pruhu



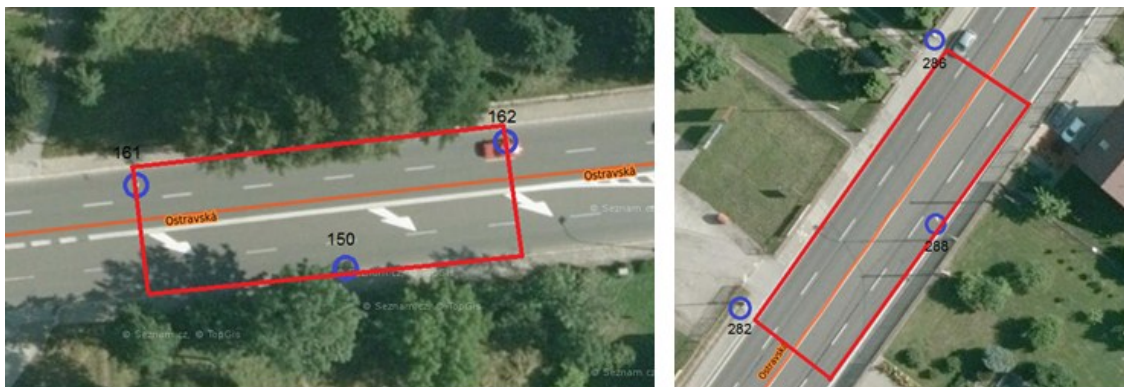
Obr. 21 - Druhý měřený úsek - pohled z dělicího pruhu

Na obrázku 20 lze zřetelně vidět velký nedostatek světla na povrchu komunikace. Osvětlen je pouze jeden jízdní pás komunikace a druhá strana je tedy ztemnělá a již prostým pozorováním lze rozpoznat, že nemůže odpovídat normativním požadavkům. Druhý úsek je na tom podstatně lépe, nicméně hodnoty osvětlenosti také neodpovídají (jak je rozebráno dále).

Měření vybraných úseků bylo provedeno v souladu s platnou normou pro osvětlení pozemních komunikací ČSN EN 13201-3 a 4 (části výpočet a měření). Na základě těchto norem byly určeny mřížové rozteče mezi jednotlivými měřenými body a v každém tomto bodě byla změřena horizontální osvětlenost na srovnávací rovině ve výšce 0 m (na povrchu vozovky). Zakreslení měřících bodů je uvedeno na obrázku 22 a letecký snímek měřených úseků se nachází na obrázku 23.



Obr. 22 - Rozmístění a značení roztečí měřené mřížky [3]



Obr. 23 - Letecký snímek měřených úseků (vlevo 1, vpravo 2)

Pro vyhodnocení měření bylo nutno zatřídit komunikaci do odpovídající třídy osvětlení. To bylo provedeno podle technické zprávy ČSN CEN/TR 13201-1 způsobem popsáním výše v této práci. Ulice Ostravská byla zařazena do třídy M2; způsob zatřídění ukazuje tabulka 18.

Tab. 18 - Zatřídění komunikace Ostravská

Komunikace třídy M			
Parametr	Výběr	Upřesnění	Váha V_w
Typová rychlost	Průměrná	$40 < v < 70$ km/h	-1
Objem dopravy	Průměrný	35 - 65% maximální kapacity	0
Složení dopravy	Složená		1
Rozdělení jízdních pruhů	Ne		1
Četnost křížení	Vysoká	$> 3/\text{km}$	1
Parkující vozidla	Ne		0
Jas okolí	Nízký		1
Složitost navigace	Složitá		1
VWS			4

M = 6 - VWS

Zatřídění	
M	2

Měřené hodnoty osvětleností pro jednotlivé body mřížky byly v souladu s normou porovnány s hodnotami uvedenými v normě, které byly přepočteny pomocí koeficientu odraznosti asfaltu ($q_0 = 0,07$) z hodnot jasu na osvětlenost. Kompletní protokol o měření komunikace na ulici Ostravská včetně sítě měřených bodů je dostupný v příloze I této práce, pro úplnost je zde uvedeno pouze vyhodnocení tohoto měření.

Tab. 19 - Tabulka měřených a požadovaných hodnot

Úsek 1				Úsek 2				Požadované M2	
Směr Ostrava		Směr Orlová		Směr Ostrava		Směr Orlová			
E_p (lx)	4,554	E_p (lx)	1,911	E_p (lx)	8,339	E_p (lx)	5,067	E_p (lx)	$\geq 21,5$
E_{min} (lx)	0,937	E_{min} (lx)	0,372	E_{min} (lx)	2,33	E_{min} (lx)	2,48	E_{min} (lx)	-
U_o	0,206	U_o	0,195	U_o	0,279	U_o	0,489	U_o	$\geq 0,4$

V tabulce 19 je zřetelně vidět, že má být dle ČSN EN 13201-2 průměrná hodnota osvětlenosti komunikace 21,5 lx, což měřená soustava nesplňuje. Nevyhovuje ani požadavek na rovnoměrnost osvětlení této komunikace a lze tedy soudit, že měřená soustava veřejného osvětlení nevyhovuje požadavkům normy ČSN EN 13201-2.

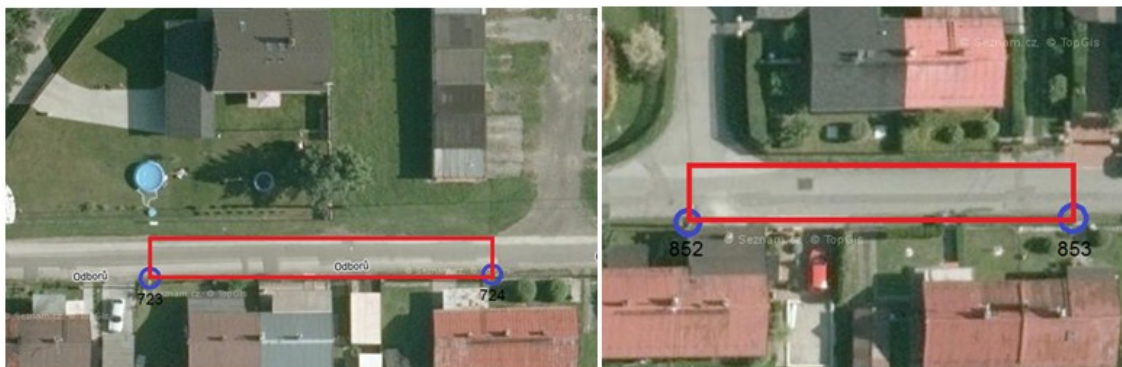
Jelikož je komunikace nasvětlena vždy pouze z jedné strany, dá se osvětlovací soustava považovat za jednostrannou, přičemž pro zajištění odpovídajících světelných podmínek na této komunikaci musí být instalována a provozována soustava vystřídaná. Jako podnět ke zlepšení světelných podmínek na měřené komunikaci je doporučeno v první řadě zprovoznění nefunkčních částí soustavy VO při ulici Ostravská a výměna svítidel této soustavy za nová při provedení odpovídajícího světelně technického výpočtu. Při ponechání současného stavu osvětlovací soustavy na měřené komunikaci je zvýšená pravděpodobnost výskytu bezpečnostních rizik způsobených sníženou viditelností.

Měření na ulicích „Ve Finských“ a „Odborů“

Oblast zmíněných dvou ulic je napájena z jednoho rozvaděče s označením RVO 003. Celkový počet ulic je však vyšší, neboť se v napájecí oblasti nachází více ulic se stejným názvem. Celá oblast RVO 003 je osazena celkem 59 kusy svítidel o celkovém instalovaném příkonu 4202 W. Všechna svítidla s výjimkou sedmi kusů jsou stále původní, vyrobena firmou Elektrosvit (CITY a 4441970) a osazena vysokotlakou sodíkovou výbojkou o příkonu 70 W.

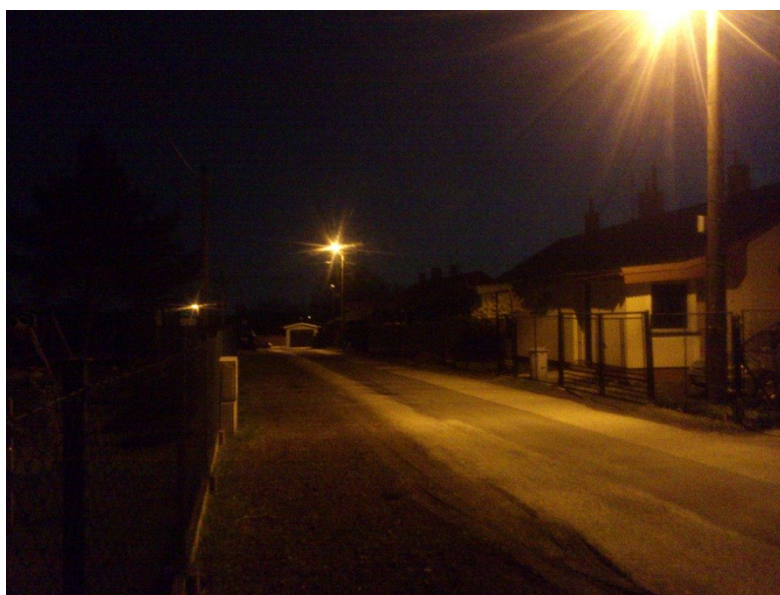
Pro měření v této oblasti byly vytipovány dvě rozteče, a to 42 m (mezi svítidly 723 a 724) a 35 m (mezi svítidly 852 a 853). Tyto rozteče byly určeny jako nejkratší a nejdelší měřitelná rozteč mezi použitelnými sloupy. Jelikož se jedná o oblast s řadovými domky, jsou podle dřívějších zvyků svítidla umístěna na každém druhém sloupu elektrického vedení, což s sebou přináší také velké rozteče mezi svítidly (mnohdy až 100 m). Měřena byla tedy

nejdelší měřitelná rozteč (42 m). Tyto rozteče jsou zobrazeny na leteckých snímcích na obrázku 24.



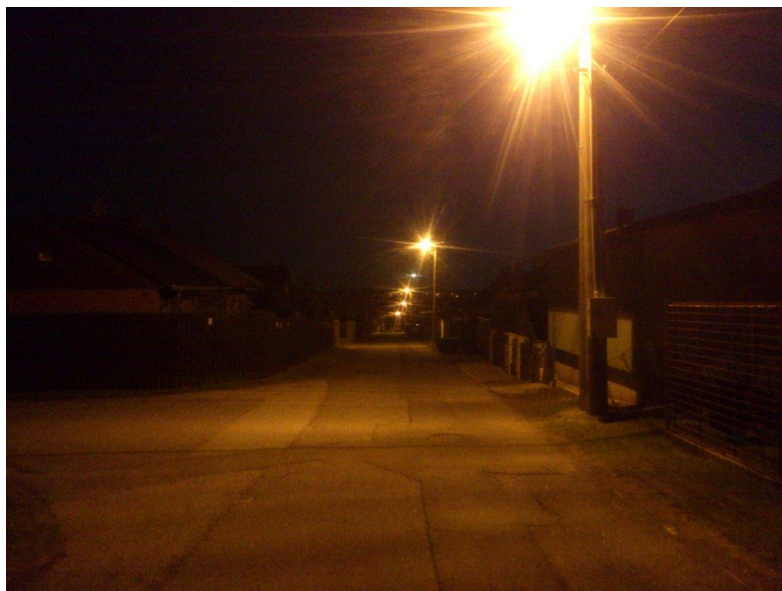
Obr. 24 - Letecký snímek měřených úseků (42 m vlevo, 35 m vpravo)

Měřené úseky vykazovaly již při příchodu nízkou hodnotu osvětlenosti a velká tmavá místa mezi jednotlivými svítidly. Celkově působily obě měřené komunikace spíše tmavým dojmem, jak je vidět na obrázcích 25 a 26.



Obr. 25 - Fotografie úseku s roztečí 42 m

Na obrázku 25 jde vidět, že se jedná o přístupovou komunikaci, která je poměrně úzká (4 m) a vznikají tak při velké rozteči nejen tmavá, ale také zbytečně přesvícená místa. Na obrázku s roztečí 35 m je situace značně lepší, ale z výsledků provedených měření je zde podle zvolené třídy také nízká hladina osvětlenosti.



Obr. 26 - Fotografie úseku s roztečí 35 m

Měření bylo opět provedeno dle platných norem a rozteče mezi měřenými body byly určeny podle obrázku 22. Všechny hodnoty horizontální osvětlenosti byly také měřeny na úrovni povrchu vozovky. Komunikace v oblasti RVO 003 byly shodně zařazeny do třídy osvětlení P4, jak ukazuje tabulka 20.

Tab. 20 - Zatřídění komunikací v oblasti RVO 003

Komunikace třídy P			
Parametr	Výběr	Upřesnění	Váha V_w
Rychlost	Nízká	$\leq 40 \text{ km/h}$	1
Využití	Normální		0
Složení dopravy	Chodci a motorová doprava		1
Parkující vozidla	Ano		1
Jas okolí	Nízký		-1
Rozpoznání obličeje	Není nutné		x
VWS			2

P = 6 - VWS

Zatřídění	
P	4

Protokol o měření je uveden v příloze I této práce a z jeho vyhodnocení bylo zjištěno, že měřené ulice jsou osvětleny na nedostatečnou hladinu osvětlenosti. Tabulka 23 udává opět

měřené hodnoty vztaženy vůči normativním požadavkům ČSN EN 13201-2. Z tohoto zhodnocení je vidět, že měřené komunikace také nevyhovují požadavkům na osvětlení kladeným normou ČSN EN 13201-2.

Tab. 21 - Tabulka měřených a požadovaných hodnot

Odborů (42 m)		Ve Finských (35 m)		Požadované P4	
E_p (lx)	3,64	E_p (lx)	4,18	E_p (lx)	≥ 5
E_{min} (lx)	0,2	E_{min} (lx)	0,8	E_{min} (lx)	≥ 1
U_0	0,06	U_0	0,19	U_0	$\geq 0,2$

Pro zlepšení světelných podmínek v měřené oblasti se doporučuje:

- 1) Výměna starých svítidel za nová s modernějšími světelnými zdroji
- 2) Doplnění osvětlovací soustavy o svítidla, která se umístí také na nevyužité sloupy mezi stávajícími světelnými body.

Příklad výpočtu PDI a AECI

$$A_{M2} = d \cdot š = 42 \cdot 7 = 294 \text{ m}^2 \quad (5.1.1.1)$$

$$D_{pM2} = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)} = \frac{70}{4,554 \cdot 294} = 52,283 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad (5.1.1.2)$$

$$D_{EM2} = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} = 365 \cdot \frac{(70 \cdot 7 + 35 \cdot 4)}{294} = 782,14 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2} \quad (5.1.1.3)$$

Tab. 22 - Tabulka vypočtených energetických ukazatelů pro měřené hodnoty

Ukazatel	Ostravská úsek 1		Ostravská úsek 2		Ve Finských	Odborů
PDI (mW·lx ⁻¹ ·m ⁻²)	52,283	124,592	42,012	69,142	119,617	114,469
AECI (kWh·m ⁻²)	0,782		1,151		2,008	1,673

Pro výpočet energetických ukazatelů nebyly dostupné potřebné informace a proto byl proveden odborný odhad možností regulace osvětlovací soustavy. Z dostupných zdrojů bylo zjištěno, že průměrná doba svícení veřejného osvětlení činí v České republice 4000 hodin za rok, což odpovídá cca jedenácti hodinám za den. Dále bylo odhadnuto, že moderní svítidla se běžně regulují na 50% příkonu v době menší hustoty dopravy (tzv. umělá půlnoc) a to cca

na 4 hodiny denně. Tyto údaje byly použity pro výpočet energetického ukazatele AECl. Svítidla použitá na měřené soustavě komunikací třídy P nejsou regulována a tak byl výpočet energetického ukazatele AECl proveden pro plný příkon svítidla po celou dobu svícení.

Z tabulky 22 lze vidět, že energetická náročnost provozovaných soustav je vysoká, hlavně v případě spotřeby elektrické energie na metr čtvereční komunikace. Je také nutno brát v potaz, že tyto soustavy nesplňují normativní požadavky a není tedy možno srovnávat hodnoty energetických ukazatelů s typovými hodnotami, uvedenými v normě.

5.1.2 Návrh rekonstrukce osvětlení vybraných komunikací

Jak již bylo řečeno ve zhodnocení měřených úseků, tak osvětlení měřených komunikací při daném zatřídění neodpovídá normativním požadavkům a jejich energetická náročnost je značná. Je tedy nutné přistoupit k rekonstrukci osvětlovací soustavy s provedením patřičného návrhu obnovy, aby došlo ke zlepšení energetické účinnosti soustavy veřejného osvětlení.

Při návrhu osvětlovací soustavy je nutno vzít v potaz stávající prostorové uspořádání. V případě měřených komunikací bylo např. zjištěno, že svítí pouze osvětlení na jedné straně komunikace nebo že rozteče mezi svítidly jsou značné, jelikož jsou umístována na každém druhém sloupu. Parametry takovýchto soustav nemohou být významně zlepšeny, pokud se využije stávající uspořádání prvků osvětlovací soustavy. V tomto případě je nutno:

- a) pro ulici Ostravskou dimenzovat osvětlovací soustavu jako vystřídanou a tedy zprovoznit nefunkční část VO
- b) pro komunikace třídy P využít sloupů neosazených svítidly a snížit tak jejich vzájemné rozteče

Na základě provedeného měření a poskytnuté pasportizace byly zjištěny rozteče mezi jednotlivými svítidly, šířky komunikací a montážní výšky svítidel.

Ulice „Ostravská“ (M2)

Návrh obnovy na komunikaci Ostravská souvisí s problémem obnovy nefunkční části soustavy veřejného osvětlení. Při návrhu byly tedy zaměněny všechna svítidla tak, aby byly dodrženy normativní požadavky na osvětlení pro třídu M2. Byly použita svítidla firmy Schreder, konkrétně typ Voltana s příkonem 145 W jehož specifikace je součástí přílohy III této práce.

Tab. 23 - Parametry pro návrh VO na ulici „Ostravská“

Šířka jízdního pásu (komunikace)	7 m (14 m)
Rozteč mezi světelnými body	42 m
Výška svítidla	10 m
Odraznost asfaltu	7 %
Typ soustavy	Vystřídaná
Typ povrchu vozovky	R2
Udržovací činitel	0,8

V tabulce 23 se nachází výčet parametrů uvažovaných při návrhu osvětlovací soustavy. Kompletní světelně technický výpočet návrhu osvětlení ulice Ostravská je uveden v příloze II tohoto dokumentu. Vypočtené hodnoty jasu a rovnoměrností pro daný typ svítidla jsou uvedeny v tabulce 24.

Tab. 24 - Vypočtené a normativní hodnoty pro třídu M2

	$L \text{ (cd} \cdot \text{m}^{-2})$	U_o	U_i	$f_{\pi} \text{ (%)}$
Směr Ostrava	1,73	0,73	0,82	9
Směr Orlová	1,73	0,67	0,82	9
Normativní	$\geq 1,5$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10

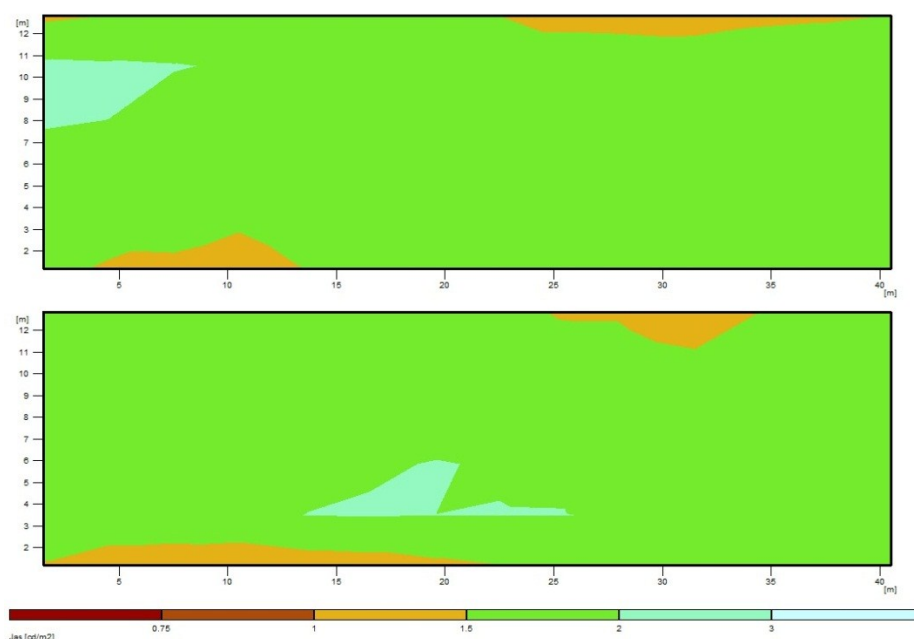
Výpočet proběhl podle platného souboru norem ČSN EN 13201 a z tohoto hlediska navržená osvětlovací soustava odpovídá požadavkům zmíněných norem. Splnění těchto požadavků je poměrně jednoduchým úkolem, avšak byl kladen důraz zejména na rovnoměrnost jasů komunikace. Při stávajících vzdálenostech a při použití vystřídané soustavy nebyl problém této rovnoměrnosti dosáhnout díky vhodně zvoleným svítidlům. Tato svítidla mají vhodnou distribuci světelného toku do prostoru (křivku svítivosti) a velmi dobře se tedy hodí k nasvětlování úseků s podobnými roztečemi mezi sloupy veřejného osvětlení.

Na obrázcích 27 a 28 jsou zobrazeny výpočty, exportované z programu Relux, určenému pro výpočet a projekci osvětlovacích soustav. Obrázek 27 zobrazuje vypočtené hodnoty jasů komunikace ve stanovených roztečích a obrázek 28 pak grafické rozložení těchto jasů pomocí tzv. nepravých barev.

[m]	1.42	1.51	1.62	1.66	1.7	1.7	1.64	1.5	1.32	1.3	(1.26)	1.38	1.43	1.51
12.83	[2.08]	2.05	2.02	1.96	1.97	1.9	1.83	1.85	1.87	1.83	1.86	1.92	1.91	1.92
10.50	2.04	2.01	1.85	1.88	1.91	1.81	1.86	1.9	1.89	1.79	1.77	1.83	1.93	1.97
8.17	1.88	1.82	1.67	1.64	1.66	1.73	1.79	1.84	1.86	1.83	1.76	1.85	1.82	1.87
5.83	1.73	1.66	1.56	1.53	1.61	1.65	1.73	1.75	1.78	1.75	1.86	1.86	1.81	1.76
3.50	1.58	1.46	1.47	1.41	1.5	1.54	1.56	1.54	1.55	1.64	1.68	1.73	1.74	1.73
1.17														
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50	31.50	34.50	37.50	40.50
	Jas [cd/m2]													

[m]	1.56	1.56	1.65	1.68	1.73	1.73	1.73	1.59	1.47	1.46	1.41	1.5	1.53	1.56
12.83	1.75	1.78	1.75	1.86	1.86	1.81	1.76	1.73	1.66	1.56	1.53	1.61	1.65	1.73
10.50	1.83	1.86	1.82	1.76	1.85	1.82	1.88	1.88	1.81	1.67	1.64	1.67	1.74	1.8
8.17	1.92	1.92	1.83	1.81	1.88	1.97	2.01	1.98	1.97	1.84	1.85	1.89	1.8	1.85
5.83	1.81	1.86	1.86	1.9	2	[2.02]	2	2.01	2	1.97	1.94	1.96	1.9	1.83
3.50	1.47	1.26	1.22	(1.16)	1.28	1.32	1.42	1.49	1.54	1.64	1.66	1.72	1.71	1.66
1.17														
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50	31.50	34.50	37.50	40.50
	Jas [cd/m2]													

Obr. 27 - Zobrazení vypočtených hodnot jasů pro oba směry komunikace



Obr. 28 - Grafické rozložení jasů pro oba směry komunikace

Jak lze pozorovat z obrázku 28, jsou hodnoty jasů opravdu velmi rovnoměrně rozloženy po celé ploše jízdního pásu a je tedy velmi pravděpodobné, že reálné jasové poměry po provedení navržené rekonstrukce budou přibližně stejné.

Ulice „Ve Finských“ a „Odborů“ (P4)

Zmíněné ulice se nacházejí v poli působnosti spínacího zařízení RVO 003. Tato soustava je typická velkými roztečemi mezi jednotlivými světelnými body a pro dodržení normativních požadavků třídy P4 je tedy nutné využít sloupky umístěné mezi dvěma světelnými body, pro

názornost je však uveden i výpočet pro kratší rozteč, která se v dané lokalitě také často vyskytuje.

Samotný výpočet osvětlovací soustavy je proveden pro největší rozteč s použitím svítidla firmy AEC Illuminazione, konkrétně typem LED-in 1H OC, které má uváděný příkon 46 W. Toto svítidlo bylo voleno s ohledem na křivku svítivosti, jelikož, z důvodu nižší výšky stožáru, svítidla použitá pro osvětlení ulice Ostravská nebyly vhodné pro osvětlení této komunikace a vznikaly tak velká přesvětlená místa v kontrastu s tmavými plochami. Specifikace tohoto svítidla je uvedena v příloze III. Zadávané parametry jsou uvedeny v tabulce 25.

Tab. 25 - Parametry pro návrh VO pro RVO 003

Šířka jízdního pásu	4 m (Odborů) 4,5 m (Ve Finských)
Rozteč mezi světelnými body	42 m
Výška svítidla	9 m
Odraznost asfaltu	7%
Typ soustavy	Jednostranná
Typ povrchu vozovky	R3
Udržovací činitel	0,8

Kompletní světelně technický výpočet je uveden v příloze II této práce, v tabulce 26 jsou uvedeny vypočtené hodnoty osvětlenosti vztahované vůči normativním požadavkům třídy P4.

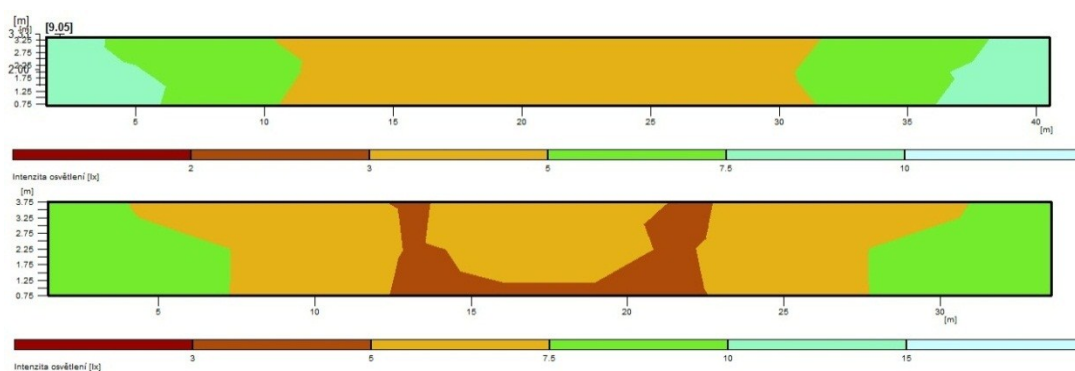
Tab. 26 - Vypočtené a normativní požadavky třídy P4

	E_p (lx)	E_{min} (lx)	U_o
Odborů (42 m)	5,67	3,14	0,55
Ve Finských (35 m)	6,76	4,67	0,69
Normativní	5	1	0,2

Z tabulky 26 je patrné, že navržená soustava odpovídá požadavkům ČSN EN 13201 a je komunikace je tedy navržena správně. Pro úplnost jsou v obrázcích 29 a 30 uvedeny vypočtené hodnoty osvětlenosti pro výpočtovou síť zvolenou dle ČSN EN 13201-3 a grafické znázornění osvětlenosti povrchu vozovky pomocí nepravých barev, přičemž tyto výsledky byly exportovány programem Relux.



Obr. 29 - Vypočtené hodnoty osvětlenosti (42 m nahoře, 35 m dole)



Obr. 30 - Grafické znázornění osvětlenosti (42 m nahoře, 35 m dole)

Lze si povšimnout větší nerovnoměrnosti rozložení osvětlenosti vozovky pro kratší rozteč mezi světelnými body. Je to z toho důvodu, že bylo pro celou soustavu v rámci koncepční výměny projektováno pouze jedno svítidlo, což vychází z běžné projektantské praxe. Návrh jednoho úseku, který by osvětlovala dvě různá svítidla by byl velmi náročný hlavně z hlediska celkové rovnoměrnosti osvětlení komunikace a proto se tedy přistupuje k tomuto zjednodušení.

Energetické ukazatele – porovnání stávajících soustav s navrženými

V tabulce 27 je provedeno názorné srovnání energetických ukazatelů starých osvětlovacích soustav, které nesplňují požadavky na osvětlení dané třídy a soustav navržených dle ČSN EN 13201. Je důležité podotknout, že norma ČSN EN 13201-5 neurčuje typové hodnoty energetických ukazatelů pro třídu P a lze tedy s touto normou porovnávat pouze komunikace třídy M, které splňují všechny normativní požadavky na osvětlení povrchu vozovky.

Tab. 27 - Srovnání energetických ukazatelů

		PDI (mW·lx ⁻¹ ·m ⁻²)	AECI (kWh·m ⁻²)	
Ostravská	Před obnovou (úsek 1)	52,283	0,782	Úspora (%) 0
		124,592		
	Před obnovou (úsek 2)	42,012	1,151	
		69,142		
	Po obnově	14,176	1,62	
Ve Finských	Před obnovou	114,469	1,673	42,30
	Po obnově	48,291	0,899	
Odborů	Před obnovou	119,617	2,008	46,30
	Po obnově	48,319	1,079	

Srovnáním bylo dokázáno snížení energetické náročnosti při rekonstrukci osvětlovací soustavy na ulicích třídy P (Ve Finských a Odborů). Na ulici Ostravská však nelze hovořit o energetické optimalizaci, jelikož byl podstatně zvýšen příkon osvětlovací soustavy, aby byly dodrženy všechny normativní požadavky. Celkový využívaný instalovaný příkon veřejného osvětlení na této soustavě je tedy vyšší než před rekonstrukcí. Z toho důvodu se také zvýšil ukazatel roční spotřeby elektrické energie a úspora by tedy vycházela v záporných číslech, jelikož náklady na elektrickou energii by se touto rekonstrukcí zvýšily cca o 15%.

Energetické ukazatele v prvním měřeném úseku komunikace na ulici Ostravská se značně liší z důvodu nedostatečného osvětlení komunikace. Osvětlenosti byly měřeny v obou jízdních pásích, přičemž jeden byl osvětlen přilehlými svítidly a druhý byl tzv. ve tmě. U druhého úseku není takový rozdíl mezi jednotlivými PDI, jelikož byl nasvětlen rovnoměrněji, i když se při stejných parametrech komunikace jednalo také o jednostrannou soustavu (rovnoměrnost je dána hlavně vyšším příkonem použitých svítidel). Navržená soustava je projektována jako vystřídaná a oba jízdní pásy jsou tak nasvětleny totožně LED svítidly. Proto je celkový ukazatel hustoty výkonu o notnou část nižší nežli pro stávající soustavu.

U soustav v poli rozvaděče RVO 003, tedy ulic Odborů a Ve Finských již lze pozorovat téměř poloviční snížení ukazatele roční spotřeby elektrické energie. Je to hlavně důsledek výměny vysokotlakých sodíkových výbojek za LED diody. Došlo tedy ke zvýšení měrného výkonu světelných zdrojů a také zvýšení celkové účinnosti svítidla, protože nová svítidla

mají mnohem účinnější optický systém než svítidla původní, zastaralá. Tím zákonitě došlo ke snížení příkonu světelného místa a tedy potřebný elektrický příkon pro osvětlení dané plochy je menší. Tím tedy dojde ke snížení spotřeby elektrické energie osvětlovaného úseku při zajištění odpovídající hladiny osvětlení.

6. Závěr

Tato práce měla za úkol shromáždit veškeré požadavky na obnovu soustav veřejného osvětlení a poskytnout o nich základní ucelený přehled. Vypracoval jsem tedy strukturu těchto požadavků, přičemž byl kladen důraz především na dodržení normativních hodnot, vycházejících z dlouhodobých měření a průzkumů. Jak již bylo řečeno, normy pro osvětlení pozemních komunikací nejsou závazné, ale je doporučováno se jimi, z výše uvedeného důvodu, řídit.

Jedním z hlavních bodů této práce byl komplexní rozbor nového způsobu zatřídování komunikací a jejich přeložení do českého jazyka. Dále pak základní rozbor nově vydané části ČSN EN 13201-5, jednotlivých energetických ukazatelů, způsobů řízení a jejich aplikace na reálném příkladu při návrhu rekonstrukce veřejného osvětlení města Petřvald. Vybrané město se potýká s nešvarem dnešní doby, kdy se vše řídí heslem „za málo peněz hodně muziky“ a proto jejich zrekonstruovaná osvětlovací soustava na ulici Ostravské naprosto neodpovídá normativním požadavkům. Z mého úhlu pohledu se jednalo o ztrátovou investici což může potvrdit i výsledek výpočtu hustoty výkonu, který byl nečekaně vysoký. Proto sice došlo ke snížení spotřeby elektrické energie, ale na úkor katastrofálního nedodržení doporučených parametrů a tím výraznému snížení bezpečnosti silničního provozu.

Tyto nedostatky jsem vyřešil návrhem nové osvětlovací soustavy podle platné legislativy a platného souboru technických norem. Osvětlovací soustavy, navržené v této práci, jsou koncipovány pro maximální dodržení stanovených doporučených parametrů a pro co nejlepší komfort uživatele komunikace (viz rozložení jasů a osvětleností). U všech osvětlovacích soustav také bylo docíleno zvýšení energetické účinnosti. V případě komunikací třídy P lze dokonce hovořit i o téměř poloviční úspoře elektrické energie na osvětlovaný úsek, což se však vyváží zvýšením počtu světelných bodů, takže instalovaný příkon bude takřka totožný se současným (avšak již při správných světelných podmínkách).

Literatura

- [1] ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 360455.
- [2] ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 360455
- [3] ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 360455.
- [4] ČSN EN 13201-4 Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 360455.
- [5] ČSN EN 13201-5 Osvětlení pozemních komunikací - Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 360455.
- [6] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, J. VORÁČEK a kol. *Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR* [online]. Ostrava : ČSO, 2007 [vid. 8.4.2017]. Dostupné z: www.csorsostrava.cz
- [7] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK *Světlo a osvětlování*. Praha : FCC Public, s. r. o., 2013. 978-80-86534-21-3.
- [8] SOKANSKÝ, Karel a další. *Světelná technika*. Praha : ČVUT - Praha, 2011. 978-80-01-04941-9.
- [9] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Tomáš MAIXNER a František DOSTÁL. *Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení* [online]. Ostrava : ČSO, 2008 [vid. 8.4.2017]. Dostupné z: www.csorsostrava.cz
- [10] SOKANSKÝ, Karel a kol. *Metodické pokyny pro sjednocení požadavků na obnovu veřejného osvětlení* [online]. Ostrava : ČSO, 2013 [vid. 8.4.2017]. Dostupné z: www.csorsostrava.cz
- [11] MASTER SON-T PIA Plus 70W/220 E27 1SL/12 MASTER SON-T PIA Plus - Philips Lighting. [online]. Copyright ©2017 Philips Lighting Holding B.V.. All rights reserved. [vid. 12.4.2017]. Dostupné z: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps/high-intensity-discharge-lamps/son-high-pressure-sodium/master-son-t-pia-plus/928152700028_EU/product

- [12] HPI-T Plus 250W/645 E40 1SL/12 MASTER HPI-T Plus - Philips Lighting. [online]. Copyright ©2017 Philips Lighting Holding B.V.. All rights reserved. [vid. 12.4.2017]. Dostupné z: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps/high-intensity-discharge-lamps/quartz-metal-halide/master-hpi-t-plus/928481300097_EU/product
- [13] R2L2 — Česká republika (Čeština). [online]. Copyright © 2017 Thorn [vid. 12.4.2017]. Dostupné z: <http://www.thornlighting.cz/cs-cz/produkty/venkovni-osvetleni/ulicni-osvetleni/R2L2>
- [14] LED ve veřejném osvětlení – skutečnosti versus mýty. *Časopis světlo* [online]. 2009, 2009(6), 2.str. [vid. 9.4.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39807.pdf>
- [15] Elektrosvit | Veřejné osvětlení a vše kolem něj Úvod | *Veřejné osvětlení a vše kolem něj* [online]. Copyright © [vid. 9.4.2017]. Dostupné z: <http://vo.wbs.cz/lam.jpg>
- [16] Ovládací systém VO, zapínací místa RVO. *Artmetal-CZ* [online]. Brno : Artmetal-CZ, 2014 [vid. 12.4.2017]. Dostupné z: www.artmetal-cz.com/přednášky/zařízení vo/ Ovládací systém VO zapínací místa.pdf
- [17] *Matthew Beckler's Home Page :: mbeckler.org* [online]. [vid. 14.4.2017]. Dostupné z: https://www.mbeckler.org/microcontrollers/rgb_led/pwm.png

Seznam příloh

Přílohy této práce jsou poněkud rozměrné a jsou proto umístěny na přiloženém CD.

PŘÍLOHA I – Protokoly o provedeném měření hladin osvětlenosti ve městě Petřvald

PŘÍLOHA II – Návrhy nových osvětlovacích soustav a světelně technické výpočty

PŘÍLOHA III – Datové listy a specifikace navržených svítidel